



# STREAM

## Personenvervoer

Emissiekentallen modaliteiten 2024



*Committed to the Environment*

# STREAM Personenvervoer

## Emissiekentallen modaliteiten 2024

Dit rapport is geschreven door: Daan van Seters, Roy van den Berg

Delft, CE Delft, februari 2025

Publicatienummer: 25.210506.052

Opdrachtgevers: ANWB, CO2emissiefactoren.nl (Milieu Centraal, SKOA, Stimular) Koninklijk Nederlands Vervoer (KNV), Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, NS en ProRail

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Roy van den Berg (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

### **CE Delft**

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



# Inhoud

	Begrippenlijst	5
	Samenvatting	7
1	Introductie	8
	1.1 Achtergrond	8
	1.2 Doel en afbakening van de studie	8
	1.3 Gebruik STREAM-cijfers	10
	1.4 Verschillen met STREAM Personenvervoer 2023	12
	1.5 Leeswijzer	13
2	Overzicht van de uitkomsten	14
	2.1 Introductie	14
	2.2 Gemiddelde emissiefactoren per voertuigcategorie	14
3	Gebruik kentallen	22
	3.1 Emissies bepalen voor een vervoerswijze	22
	3.2 Out-of-scope emissies	23
4	Aannames en methode	26
	4.1 Algemeen	26
	4.2 Personenauto	27
	4.3 Motorfiets	31
	4.4 Bromfiets	32
	4.5 Fiets	34
	4.6 Personenbusje	35
	4.7 Ov-bus	38
	4.8 Touringcar	40
	4.9 Trein	42
	4.10 Tram en metro	44
	4.11 Luchtvaart	46
	4.12 Vervoer over water	51
	Literatuurlijst	53
A	Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen	56
	A.1 Update biobrandstoffen	58
B	Gedetailleerde vervoersprestatie	60
	B.1 Personenauto	60
	B.2 Motorfiets	61
	B.3 Bromfiets	62



	B.4 Fiets	63
	B.5 Personenbusje	63
	B.6 Ov-bus	64
	B.7 Touringcar	65
	B.8 Trein	66
	B.9 Tram en metro	66
	B.10Luchtvaart	66
C	Uitkomsten luchtvaart per LTO	67
	C.1 Emissies per LTO	67
D	Berekening broeikasgasemissies elektriciteitsproductie	68
E	Uitgebreide kentallen elektrische- en waterstofvoertuigen	70

# Begrippenlijst

Afkorting/begrip	
Aandrijflijn	De aandrijflijn is een verzamelnaam voor alle componenten die ervoor zorgen dat de wielen worden aangedreven.
CCD	Climb, Cruise and Descent. De emissies tijdens de klimfase, cruise fase en daalfase van een vlucht.
CH <sub>4</sub>	Methaan (broeikasgas).
CNG	Compressed Natural Gas.
CO <sub>2</sub>	Koolstofdioxide.
CO <sub>2</sub> -equivalenten	Totaal broeikaseffect van CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> en N <sub>2</sub> O uitgedrukt in eenheden van de sterkte van het broeikasgaseffect van CO <sub>2</sub> .
EC	Elementair koolstof. Het bestaat voornamelijk uit roetdeeltjes die ontstaan bij onvolledige verbranding van fossiele en andere brandstoffen.
Emissiekental	Een waarde voor de uitgestoten hoeveelheid gas of stof.
Energiedrager	Een product dat energie bevat in de vorm van een brandstof, warmte of kracht.
Euroklasse	Euroklasse zijn emissieklasse van wegvoertuigen. De schaal loopt momenteel van emissieklasse 0 (minst schoon) tot aan emissieklasse 6 (het schoonst). Hoe hoger de emissieklasse, hoe minder schadelijke stoffen als fijnstof, koolstofmonoxide en stikstofoxiden het voertuig uitstoot.
GHG-emissie	Greenhouse Gasemissie: broeikasgassen.
GWP	Global Warming Potential. Een relatieve maat, die het aardopwarmingsvermogen van een broeikasgas aangeeft vergeleken met dat van koolstofdioxide, veelal voor een periode van 100 jaar.
kWh	Kilowattuur.
LCA	Levenscyclusanalyse (life-cycle assessment). Dit is een analyse van de emissies gedurende de gehele levenscyclus, dus van productie tot sloop (of recycling).
LPG	Liquefied Petroleum Gas.
LTO	Landing and Take-Off.
MJ	MegaJoule.
N <sub>2</sub> O	Lachgas (broeikasgas).
Niet-CO <sub>2</sub> -emissie	Deze emissies treden voornamelijk op bij luchtvaart. Het vooral waterdamp, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , Contrails (vliegtuigstrepen) en koolwaterstoffen. Deze zijn niet evenredig aan het brandstofverbruik en hebben vaak een relatief korte verblijfstijd in de atmosfeer.
NO <sub>x</sub>	Verzamelnaam voor monostikstofoxiden (NO, NO <sub>2</sub> en NO <sub>3</sub> ). Leidt tot smogvorming en verzuring van het milieu en is schadelijk voor de luchtwegen.
Ov	Openbaar vervoer.
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle.
PM	Fijnstof (particulate matter).
PM <sub>10</sub>	Stofdeeltjes kleiner dan tien micrometer, ook wel fijnstof (particulate matter) genoemd. PM <sub>10</sub> -emissies bestaan onder andere uit PM <sub>2,5</sub> -emissies. Daarnaast zijn ook wat stofdeeltjes groter dan 2,5 micrometer maar kleiner dan tien micrometer onderdeel van PM <sub>10</sub> . De relatief grotere deeltjes zijn minder schadelijk voor de gezondheid.
PM <sub>2,5</sub>	Stofdeeltjes kleiner dan 2,5 micrometer, ook wel fijnstof (particulate matter) genoemd. Ontstaat zowel bij verbranding (PM <sub>v</sub> ) als door slijtage (PM <sub>st</sub> ) (door wrijving van remmen, afschuren van rubber banden en het wegdek). Is bij inademing schadelijk voor de gezondheid.

Afkorting/begrip	
PM <sub>st</sub>	Afkorting gebruikt voor PM-emissies door slijtage van remmen, banden, rails en het wegdek. Slijtage emissies bestaan vaak uit een combinatie van kleinere (PM <sub>2,5</sub> ) en grotere stofdeeltjes (PM <sub>10</sub> niet zijnde PM <sub>2,5</sub> ).
PM <sub>v</sub>	Afkorting gebruikt voor PM-emissies door verbranding. Verbrandingsemissies bestaan voor het grootste deel uit PM <sub>2,5</sub> .
rkm	Reizigerskilometer.
SO <sub>2</sub>	Zwaveloxide-emissies. Leidt tot smogvorming en verzuring van het milieu. Het kan leiden tot o.a. ademhalingsmoeilijkheden, oogirritatie en longproblemen.
STREAM	Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten
TTW	Tank-to-wheel- (weg- en spoorvervoer) of tank-to-wake- (scheep- en luchtvaart) emissies: emissies die ontstaan door verbranding van brandstof tijdens het gebruik van het voertuig. In deze studie zijn in de tabellen ook de fijnstofslijtage-emissies opgenomen onder de kop TTW.
Ureum	Een synthetisch product dat voorkomt in AdBlue: een 32,5%-oplossing van ureum in gedemineraliseerd water. Het wordt gebruikt als bijvoeging bij voertuigen die diesel gebruiken, om ze schoner te laten rijden, en aan de emissienormen te laten voldoen. De voertuigen moeten wel zijn voorzien van een uitlaatgas katalysator met SCR-techniek.
vkm	Voertuigkilometer.
VOS	Vluchtige organische stoffen. Deze komen vrij bij verdamping en onvolledige verbranding van brandstoffen. Blootstelling aan vluchtige organische stoffen kan gezondheidsklachten veroorzaken.
NMVOS	Vluchtige organische stoffen (zie hierboven), methaan (CH <sub>4</sub> ) uitgezonderd. Omdat methaan ook een sterk broeikas effect heeft, wordt dit bestandsdeel vaak los beschouwd van andere vluchtige organische stoffen. De totale massa-uitstoot van VOS is gelijk aan de som van de NMVOS-massa en de methaanmassa.
Wegtype	We onderscheiden drie type wegen: stadwegen, buitenwegen en snelwegen. Op deze wegen worden verschillende snelheden gereden en kennen verschillend rijgedrag, bijvoorbeeld de mate van start en stoppen. Dit zorgt voor een verschillend brandstofgebruik.
WLTP	Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure. Het is een test waarmee de uitlaatgasemissies van een auto worden gemeten. De meting wordt uitgevoerd bij de typegoedkeuring van een auto om te zien of deze aan de geldende emissienorm voldoet.
WTT	Well-to-tank-emissies (weg en spoor) of well-to-wake-emissies (binnen, scheep- en luchtvaart); emissies die vrijkomen tijdens winning, het transport en het raffinageproces van brandstoffen of bij de productie en het transport van elektriciteit. Conform IPCC-afspraken zijn de TTW-emissies van biobrandstoffen nul. De netto ketenemissies van biobrandstoffen worden als WTT-emissies meegerekend.
WTW	Well-to-wheel (voor weg- en spoorvervoer) of well-to-wake (voor scheep- en luchtvaart)-emissies; Totaal van WTT- en TTW-emissies.

# Samenvatting

CE Delft publiceert sinds 2008 onder de naam STREAM (Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten) emissiekentallen voor transport. De kentallen worden veelvuldig gebruikt voor CO<sub>2</sub>-accounting en beleidsanalyses. Het belang van up-to-date emissiekentallen wordt daardoor steeds groter. STREAM Personenvervoer richt zich op het beschikbaar maken van klimaat- en luchtvervuilende emissiekentallen (per reizigerskilometer) van de verschillende modaliteiten voor personenvervoer in Nederland.

Dit rapport is een tweede update van STREAM personenvervoer 2022. In het originele rapport werden kentallen berekend voor het zichtjaar 2020. In de eerste update werd het zichtjaar 2021. De kentallen in dit rapport, de tweede update, zijn berekend voor het jaar 2022.

De emissiekentallen zijn uitgewerkt voor de verschillende voertuigtypen, infrastructuurtypen (indien relevant) en meest voorkomende combinaties van aandrijflijnen en energiedragers. In deze studie zijn voor elk van de combinaties voertuig-aandrijflijn-brandstofsoort/energiedragercombinaties de volgende emissies gerapporteerd: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (methaan) en N<sub>2</sub>O (lachgas) (samen kunnen deze worden uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten), NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub>, EC, VOS en SO<sub>2</sub>. Zowel de uitlaatemissies (tank-to-wheel) als de emissies die vrijkomen bij de energieproductie (well-to-tank) zijn meegenomen. In lijn met de (aangekondigde) ISO 14083-norm hebben wij bij de emissies van energieopwekking ook de productie van energie-infrastructuur gekwantificeerd, omdat de verschillen in deze emissies met name bij zonne- en windenergie erg relevant zijn. De overige levenscyclusemissies vormen geen onderdeel van de emissiekentallen.

In dit rapport is een overzicht opgenomen van de belangrijkste emissies (CO<sub>2</sub>-eq., NO<sub>x</sub> en PM) van verschillende voertuigcategorieën op basis van gemiddelden. Meer gedetailleerde kentallen stellen wij beschikbaar via [de webtool](#). Wij hebben daarvoor gekozen om op die manier de kentallen toegankelijker en sneller vindbaar te maken. In aanvulling daarop besteden we aandacht aan de belangrijkste variabelen die van invloed zijn op de emissiekentallen per modaliteit. Voor bijvoorbeeld een personenauto zijn dit: bezetting, brandstofsoort, segment (grootteklasse), wegtype en Euroklasse (leeftijd). Per modaliteit laten we zien wat de impact is op de emissies, waarmee we inzicht geven in het relatieve belang van de variabelen die de emissies beïnvloeden.

Om te komen tot de juiste emissiekentallen voor een reis of gebruik van een voertuig hebben we een stappenplan uitgewerkt voor het uitvoeren van de berekening. Met behulp van een aantal voorbeeldreizen laten we zien tot hoeveel emissies dat leidt. Ook laten we zien wat de verschillen zijn bij gebruik van verschillende modaliteiten voor eenzelfde begin- en eindpunt.

Wij hebben ons bij het opstellen van de emissiekentallen gebaseerd op bestaande literatuur en bronnen. De toegepaste methode en aannames waren afhankelijk van de modaliteit en beschikbaarheid van data. Per modaliteit hebben we aangegeven op welke manier we de kentallen hebben berekend en welke aannames daarbij zijn gemaakt. We gaan daarbij specifiek in op welke verschillende aandrijflijnen en brandstoffen we gebruiken voor de verschillende voertuigen, hoe de emissies per voertuig- of zitplaatskilometer worden berekend en hoe we de bezettingsgraden van de voertuigen hebben bepaald.



# 1 Introductie

## 1.1 Achtergrond

CE Delft publiceert sinds 2008 onder de naam STREAM (Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten) emissiekentallen voor transport, die breed worden gebruikt door beleidsmakers, bedrijven en consultants en ook worden gebruikt door [CO<sub>2</sub>emissiefactoren.nl](https://www.co2emissiefactoren.nl), de website die geharmoniseerde CO<sub>2</sub>-cijfers voor verschillende gebruikers in Nederland aanbiedt.

Met de toenemende aandacht voor emissiereductie in het personenvervoer, zowel op het gebied van klimaat als luchtverontreiniging, wordt het belang van up-to-date-emissiekentallen steeds groter. CE Delft merkt dit aan een groeiend aantal verzoeken van verschillende partijen die behoefte hebben aan inzicht in huidige en toekomstige emissies, energieverbruikscijfers en reductiepotentiëlen. De kentallen worden in toenemende mate gebruikt voor CO<sub>2</sub>-accounting en beleidsanalyses.

In 2021 is de laatste update van STREAM Goederenvervoer gepubliceerd. De laatste update van STREAM Personenvervoer dateert uit 2023, deze studie hanteerde het jaar 2021 als basisjaar. Deze studie is een update, met 2022 als basisjaar.

## 1.2 Doel en afbakening van de studie

STREAM Personenvervoer richt zich op het beschikbaar maken van up-to-date-emissiekentallen voor klimaat effecten en de belangrijkste luchtvervuilende emissies van de verschillende modaliteiten voor personenvervoer per reizigerskilometer in Nederland. Dit doen we volgens één methodiek zodat de emissiecijfers met elkaar te vergelijken zijn. Alle emissiekentallen die als resultaat van deze studie worden opgeleverd worden gepubliceerd via [de webtool](#) om de toegankelijkheid en vindbaarheid te vergroten. In beknopte vorm zijn de emissiekentallen ook in deze rapportage opgenomen, maar de nadruk van deze rapportage ligt vooral op de methodiek en onderbouwing daarvan.

De focus van STREAM ligt op de emissie per reizigerskilometer. Voor alle modaliteiten kunnen namelijk de emissies per reizigerskilometer worden uitgedrukt. De emissiekentallen worden uitgewerkt voor de verschillende voertuigtypen, infrastructuurtypen (indien relevant) en meest voorkomende combinaties van aandrijflijnen en energiedragers.

Voor elk van de combinaties voertuig-aandrijflijn-energiedrager worden de volgende emissies (ook wel componenten genoemd) gerapporteerd:

- broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (methaan) en N<sub>2</sub>O (lachgas), inclusief CO<sub>2</sub>-equivalenten);
- stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>);
- fijnstof van verbrandingsprocessen (PM<sub>2,5</sub>) én door slijtage (PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>);
- elementair koolstof (EC);
- vluchtige organische stoffen (VOS)<sup>1</sup>;
- zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>).

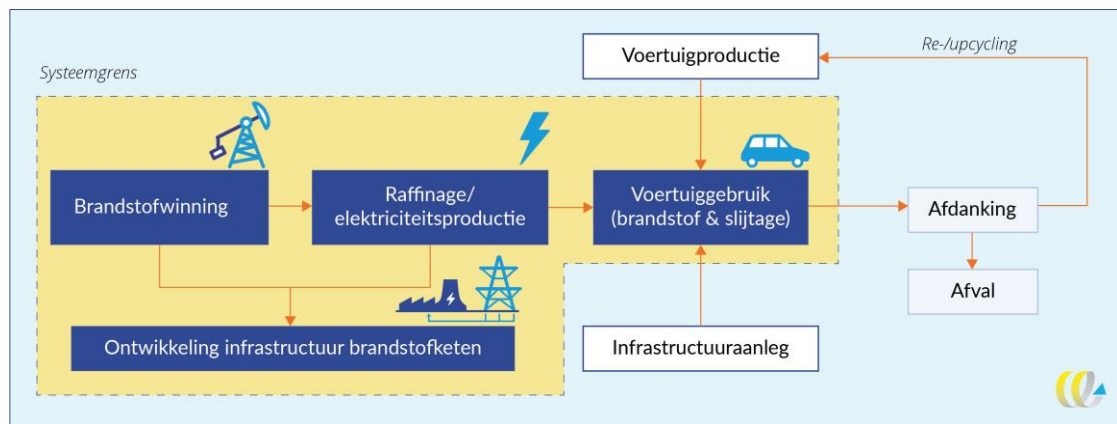
<sup>1</sup> VOS is een verzamelnaam voor meerdere stoffen die vrijkomen bij verdamping en verbranding van brandstoffen. Een uitzonderlijke stof hierin is methaan, omdat deze ook een sterk broeikas effect heeft. Hierom wordt ook wel het onderscheid gemaakt tussen niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS) en methaan. NMVOS is niet apart gerapporteerd, maar de massa hiervan kan berekend worden door de massa CH<sub>4</sub> af te trekken van de massa VOS.



Figuur 1 geeft de scope van STREAM Personenvervoer schematisch weer:

- Zowel de uitlaatemissies (tank-to-wheel) als de emissies die vrijkomen bij de energieproductie (well-to-tank) worden meegenomen. Gezamenlijk vormen deze de well-to-wheel-emissies.
- Bij de emissies van energieopwekking hebben wij ook de productie van energie-infrastructuur gekwantificeerd, omdat de verschillen in deze emissies met name bij zonne- en windenergie erg relevant zijn. Daarnaast presenteren wij ook emissiekentallen waarin de energie-infrastructuur niet is meegenomen.
- Overige levenscyclusmissies vormen geen onderdeel van de emissiekentallen.

Figuur 1 - Schematische weergave van de scope van de emissiekentallen

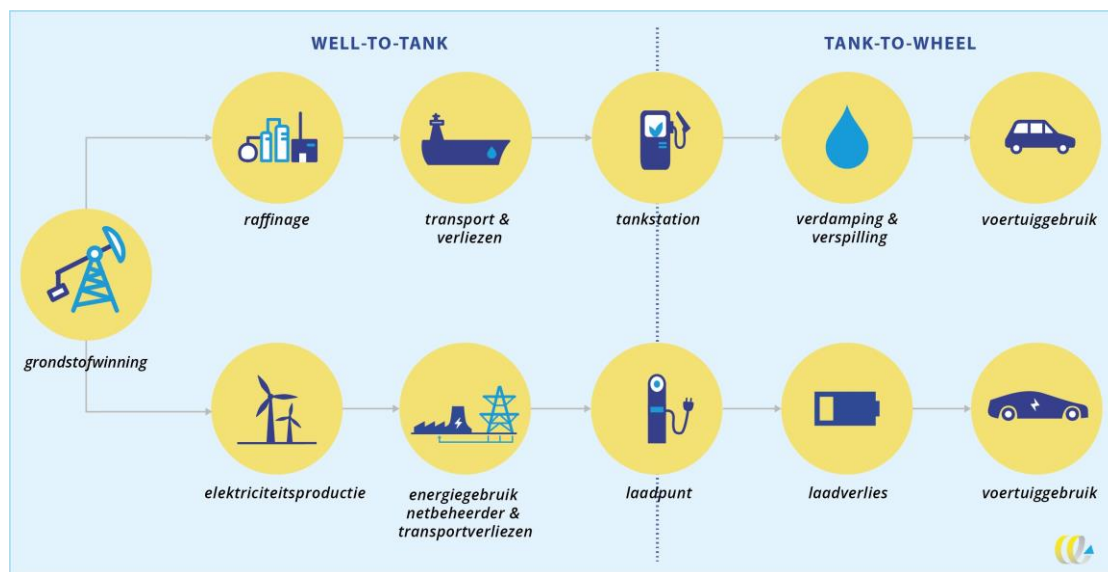


De grens tussen well-to-tank en tank-to-wheel hebben wij getrokken bij de handeling van het laden of tanken. Dit betekent dat:

- Bij een auto met verbrandingsmotor alle emissies tot het bevoorraden van het tankstation bij de well-to-tank-emissies horen.
- Eventuele verspilling van brandstof door de automobilist aan de tank wordt als extra tank-to-wheel-energieverbruik gerekend.
- In het geval van elektrische voertuigen geldt dat verliezen tot en met het laadpunt in de well-to-tank-cijfers zijn meegenomen.
- Laadverliezen worden als extra energieverbruik van het voertuig gerekend.
- De verliezen in de brandstofketen hebben wij meegenomen in de well-to-tank-kentallen. In de emissiekentallen voor elektriciteit per eenheid energie die gebruikt wordt in het voertuig houden wij dus rekening met inefficiënties van het elektriciteitsnet.

Deze keuze voor de ‘knip’ tussen well-to-tank en tank-to-wheel past bij de praktijk: op een tank- of laadbonnetje ziet de automobilist namelijk hoeveel brandstof of elektriciteit er is aangeschaft inclusief verliezen bij het laden of tanken. Dit geldt op vergelijkbare wijze voor andere voertuigen. Een schematische weergave van deze definities hebben wij in Figuur 2 weergegeven.

Figuur 2 - Schematische afbeelding van afbakening 'well-to-tank' en 'tank-to-wheel'



Wij hebben de kentallen opgesteld op basis van beschikbare data, waarbij het jaar 2021 als zichtjaar is gehanteerd. Bij sterk afwijkend reisgedrag door de coronapandemie maken we gebruik van data uit 2019 en voor luchtvaart data uit 2018. Het genereren van nieuwe data voor het vaststellen van emissiecijfers vormt geen onderdeel van deze studie.

### 1.3 Gebruik STREAM-cijfers

STREAM presenteert emissiekentallen gericht op de Nederlandse situatie. De emissiekentallen kunnen voor verschillende doeleinden worden gebruikt. De belangrijkste zijn beleidsanalyse, het vergelijken van modaliteiten en (carbon) footprinting om bijvoorbeeld de totale uitstoot van transport te kunnen berekenen. Dit kan op basis van de gemiddelde kentallen die gepresenteerd worden, zo geheten 'default data'. Daarnaast kunnen gebruikers specifiekere emissiekentallen bepalen op basis van op de situatie van de gebruiker toepasbare vervoersinformatie (zoals de bezettingsgraad).

STREAM biedt een zeer uitgebreide selectie aan emissiekentallen voor verschillende voertuigtypen, vervoersklassen, brandstoffen en wegtypen. Tegelijkertijd wordt in Hoofdstuk 2 aangegeven welke kentallen per modaliteit het meest representatief zijn.

Bij het gebruik van kentallen uit het huidige rapport is het van belang de volgende zaken te realiseren:

- De kentallen in dit rapport zijn karakteristiek voor de gedefinieerde voertuigcategorieën. Het is belangrijk om voor specifieke cases te kijken of de definitie van een voer- of (lucht)voertuigcategorie goed aansluit bij de case. Belangrijke aspecten in de definitie zijn de bezettingsgraad en de aandrijflijn/energiedrager.
- De kentallen in STREAM zijn behoorlijk gedifferentieerd voor verschillende cases, maar dienen beschouwd te worden als 'default data' voor analyses waar geen detailinformatie voor bekend is. Zo zal het bepalen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot op basis van werkelijk brandstofverbruik altijd de voorkeur verdienen boven een bepaling op basis van passagierskilometers en STREAM-kentallen. Dergelijke meer specifieke analyses zijn vaak alleen mogelijk op basis van voertuigen in eigen bezit. Voor consumenten gaat het dan om auto's en tweewielers. Voor bedrijven kunnen het ook bussen, treinen, vliegtuigen, ferry's en personenbusjes zijn.

- Totale emissies van transport kunnen worden berekend door de emissiekentallen per reizigerskilometer te vermenigvuldigen met passagierskilometers. In Hoofdstuk 3 is een meer uitgebreide toelichting te vinden. De passagierskilometers dienen gebaseerd te worden op werkelijk gereden/gevaren/gevlogen afstand en bijvoorbeeld niet op basis van vogelvluchtafstand of de kortste route.
- De emissiekentallen van STREAM houden rekening met het gemiddeld aantal lege zitplaatsen voor de verschillende vervoerswijzen. Indien specifiekere informatie beschikbaar is kan de bezettingsgraad worden aangepast in [de webtool](#)<sup>2</sup>.
- Met de kentallen in het rapport kan een vergelijking in emissies tussen modaliteiten worden gemaakt. De kentallen op zichzelf zijn niet geschikt voor een directe vergelijking tussen modaliteiten. Om een realistische vergelijking te maken dient rekening te worden gehouden met de individuele afstanden die worden afgelegd en het voor- en natransport benodigd om van herkomst tot bestemming te komen. In Hoofdstuk 3 wordt dit geïllustreerd.
- Luchtvervuilende emissies hebben invloed op de lokale omgeving waar de stoffen worden uitgestoten. Daarom dient bij een vergelijking van de schade door luchtvervuilende stoffen altijd rekening te worden gehouden met de locatie van de uitstoot. (CE Delft, 2019) laat zien dat PM- en NO<sub>x</sub>-emissies schadelijker zijn in (groot)stedelijke omgeving. PM- en NO<sub>x</sub>-emissies door de luchtvaart zijn echter gemiddeld genomen aanzienlijk minder schadelijk doordat deze op zee of in de lucht plaatsvinden. De luchtvervuilende stoffen die bij het opstijgen of landen worden uitgestoten zijn echter vaak wel in de buurt van steden. Om deze reden zijn bij de luchtvaart ook specifiek de emissies bij landen of opstijgen gekwantificeerd. Ook luchtvervuilende emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie (doorgaans gebeurt dit in dunbevolkte gebieden) zijn over het algemeen minder schadelijk dan emissies tijdens het gebruik van voertuigen (deze emissies zijn doorgaans in dichtbevolkte gebieden).

Het ligt niet in alle situaties voor de hand om de kentallen per reizigerskilometer van STREAM te gebruiken om emissies van transport te berekenen. Als specifieke informatie over het brandstofverbruik en vervoersprestatie (bijvoorbeeld tankbonnetjes en de kilometerteller van bedrijfswagens) beschikbaar is, is het namelijk mogelijk om een preciezere berekening van de CO<sub>2</sub>-emissies (per kilometer) te maken met behulp van Tabel 23 t/m Tabel 25.

Factoren die niet worden meegenomen in de gemiddelde kentallen van STREAM zijn bijvoorbeeld:

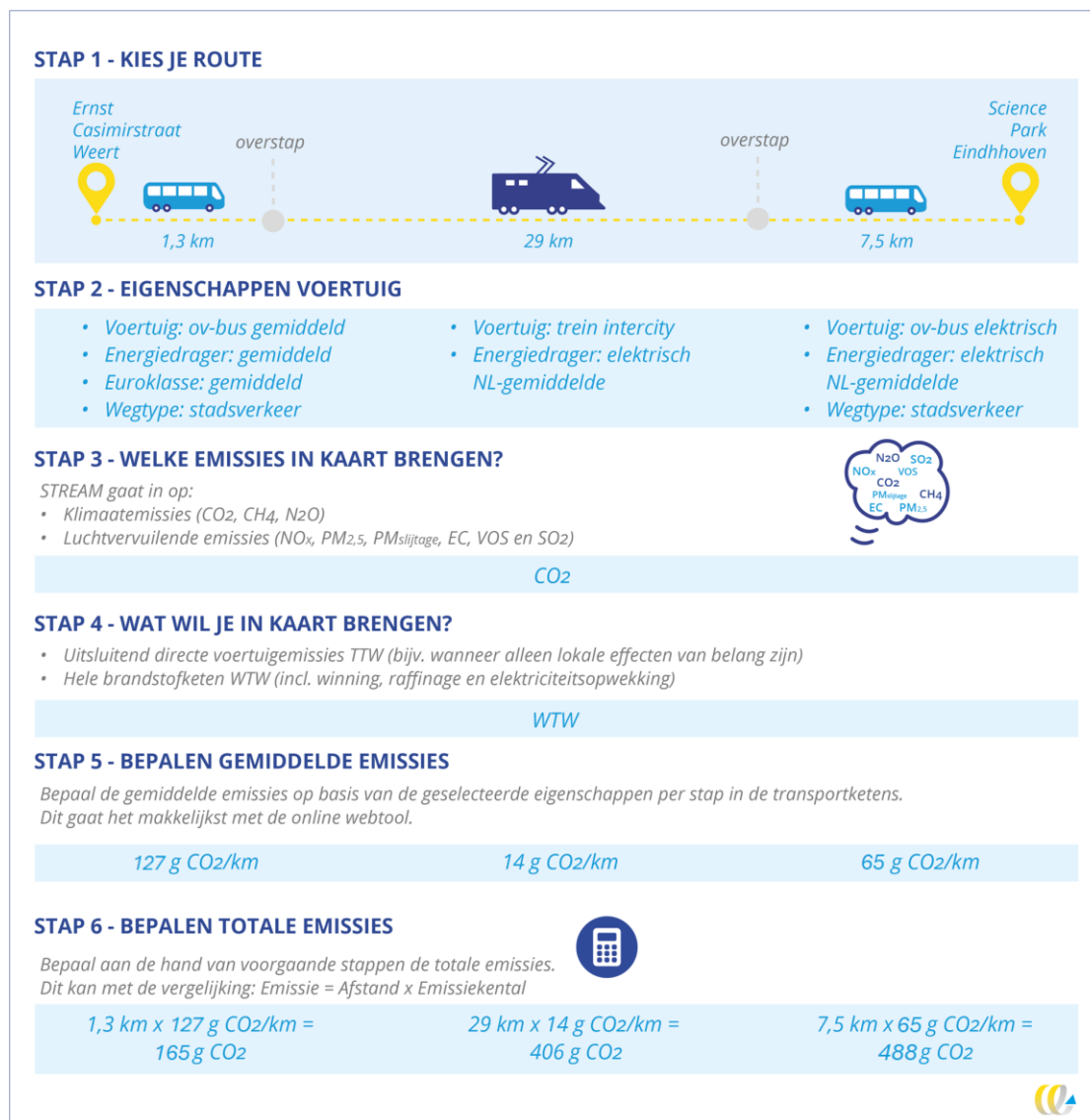
- het specifieke voertuigmodel waarin wordt gereden;
- rijgedrag van de bestuurder;
- de bandenspanning van het voertuig;
- de weersomstandigheden waarin is gereden;
- de staat van de motor.

In de praktijk is specifieke informatie over brandstofverbruik en gereden kilometers niet altijd voorhanden. In deze situaties kunnen de kentallen per reizigerskilometer van STREAM gebruikt worden.

Figuur 3 geeft een schematisch stappenplan om de emissies van een reis te bepalen met behulp van de STREAM Personenvervoer-kentallen. Een uitgebreide toelichting van rekenstappen inclusief meerdere voorbeelden hebben wij opgenomen in Hoofdstuk 3.

<sup>2</sup> Deze optie hebben wij niet opgenomen voor het ov en luchtvaart, omdat een passagier hier geen invloed heeft op de bezetting tijdens de rit. Verschillen tussen een lege of een volle bus hoeven dus niet te worden meegewogen.

Figuur 3 - Stappen om emissies te bepalen op basis van STREAM-kentallen



## 1.4 Verschillen met STREAM Personenvervoer 2023

De kentallen in STREAM Personenvervoer 2024 zijn geüpdatet en op sommige punten gewijzigd ten opzichte van de kentallen in STREAM Personenvervoer 2023. De volgende wijzigingen zijn doorgevoerd:

- De emissiekentallen en wagenparkverdeling van wegvervoer (inclusief autobussen en tweewielers), op basis van een vernieuwde studie over de emissies van Nederlandse mobiliteit (Geilenkirchen et al., 2024). Deze cijfers zijn gebaseerd op data over het Nederlandse wagenpark in 2022.
- De verdeling van tweewielers naar euroklasse zijn geüpdatet op basis van dezelfde bron; de emissiekentallen per euroklasse zijn niet geüpdatet.

- Om de emissies van de luchtvaart te bepalen zijn recente versies gebruikt van de tools waarmee we emissies berekenen. Het gaat om Eurocontrol SET (Eurocontrol, 2023) en EEA emissions calculator (EEA, 2023). Met deze update zijn de ingeschatte emissies completer, omdat ook praktijkemissies van relatief nieuwere vliegtuigen beschikbaar zijn gekomen.
- De WTT-emissies van elektriciteit zijn geüpdatet op basis van de verdeling van energiebronnen in 2023 (CBS, 2024).
- De WTT-emissies van (bio-)brandstoffen zijn geüpdatet op basis van (NEa, 2024).
- Het energiegebruik en bezettingsgraad van tram en metro zijn geüpdatet op basis van recente jaarrapporten van vervoerders (GVB Holding NV, 2024; HTM, lopend; Provincie Utrecht, 2024; RET, 2024).

De volgende zaken zijn niet geüpdatet:

- WTT-emissies van elektriciteit per energiebron<sup>3</sup>;
- emissiekentallen van zeevaart;
- emissiekentallen van treinverkeer, behalve de WTT-emissies door elektriciteit;
- emissiekentallen voor veerboten;
- emissiekentallen met betrekking tot slijtage;
- bezettingsgraden.

## 1.5 Leeswijzer

Deze studie levert een groot aantal emissiekentallen. Omdat het eenvoudig is om in de hoeveelheid aan getallen het overzicht te verliezen hebben we in dit rapport geprobeerd om de kentallen en de onderbouwing daarvan zo toegankelijk mogelijk op te schrijven. Daarbij hebben we ervoor gekozen de meest gebruikte (gemiddelde) cijfers op te nemen in dit rapport en de gespecificeerde kentallen beschikbaar te stellen via [de webtool](#). Hierin zijn zowel de cijfers uit het huidige rapport voor 2022 als de cijfers uit 2020, 2021 en 2030 beschikbaar (CE Delft, 2021b, 2023b). Een uitgebreide samenvatting van de uitkomsten hebben wij opgenomen in Hoofdstuk 2.

Een toelichting op hoe de kentallen te gebruiken is opgenomen in Hoofdstuk 3. Ten slotte wordt in Hoofdstuk 4 een uitgebreide toelichting gegeven op de gebruikte methode om te komen tot de emissiekentallen en de aannames die we daarbij gebruikt hebben.

---

<sup>3</sup> De WTT-emissies per type energiebron zijn ongewijzigd. De verdeling van de verschillende energiebronnen in de energiemix is echter wel geüpdatet.



# 2 Overzicht van de uitkomsten

## 2.1 Introductie

In dit hoofdstuk presenteren wij een overzicht van de uitkomsten voor gemiddelde weg-typen en voertuigcategorieën. Op dit detailniveau kan een vergelijking worden gemaakt van de emissies van verschillende voertuigcategorieën op hoofdlijnen. De emissies van verschillende voertuigen kunnen echter niet zonder meer met elkaar worden vergeleken (zie Tekstkader 1 voor een nadere uitleg).

### Tekstkader 1 - Disclaimer bij vergelijkend overzicht van kentallen

In deze paragraaf vatten wij de emissies per reizigerskilometer van verschillende voertuigen samen. Het ligt voor de hand om aan de hand van deze informatie de verschillende voertuigcategorieën te vergelijken.

Een vergelijking van de emissies per reizigerskilometer kan inzicht geven, maar hierbij moet wel rekening gehouden worden met de volgende beperkingen:

- Naast de emissies per reizigerskilometer is ook de afstand die je reist van belang. Wanneer je eenzelfde reis maakt met andere voertuigcategorieën kan de totale afstand verschillen (bijvoorbeeld: met de auto omrijden naar de eerstvolgende brug of rechtdoor met de pont). Lagere emissies per reizigerskilometer hoeven dus niet altijd gelijk te staan aan de minste emissies voor een reis.
- De kentallen in dit hoofdstuk betreffen gemiddelden. In de praktijk zijn er verscheidene factoren die ervoor kunnen zorgen dat de emissies afwijken van deze gemiddelden. In Hoofdstuk 3 van het originele rapport (STREAM Personenvervoer 2022) analyseren we de voornaamste factoren die kunnen zorgen voor afwijkingen van de gemiddelde emissiefactoren (CE Delft, 2023c).

Een uitgebreidere omschrijving van het correct gebruik van de kentallen is opgenomen in Hoofdstuk 3.

Paragraaf 2.2 geeft een overzicht van de belangrijkste emissies (CO<sub>2</sub>-eq., NO<sub>x</sub> en PM) van verschillende voertuigcategorieën op hoofdlijnen. De complete dataset van gedetailleerde kentallen kan worden gevonden in [de webtool](#).

## 2.2 Gemiddelde emissiefactoren per voertuigcategorie

In deze paragraaf geven wij een overzicht op hoofdlijnen van de belangrijkste emissies (CO<sub>2</sub>-eq., NO<sub>x</sub> en PM) van verschillende voertuigcategorieën. De belangrijkste gemiddelde emissiekentallen per reizigerskilometer hebben wij samengevat in Tabel 1 - Overzicht gemiddelde emissies per reizigerskilometer voor het wegverkeer in 2022 (g/rkm). Tabel 2 - Overzicht gemiddelde emissies per voertuigkilometer voor het wegverkeer in 2022 (g/vkm)<sup>1</sup> geeft voor het wegverkeer een vergelijkbaar overzicht van de emissies per voertuigkilometer.

In dit overzicht hebben wij voor alle gemiddelde voertuigcategorieën, uitgesplitst naar het brandstoftype, de belangrijkste tank-to-wheel- en well-to-tank-emissies samengevat<sup>4</sup>.

Voor de klimaatemissies hebben wij ook well-to-wheel-emissiekentallen opgenomen.

Voor luchtvervuiling hebben wij de tank-to-wheel- en well-to-tank-emissies niet samen genomen, omdat de uitstoot lokaal schade veroorzaakt waardoor deze emissies niet goed vergelijkbaar zijn.

<sup>4</sup> Naast de kentallen uit dit overzicht zijn in deze studie ook de klimaatemissies van CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub> apart berekend (samen vormen deze de CO<sub>2</sub>-eq.-emissies). Naast de luchtvervuilende emissies uit dit overzicht hebben wij ook de tank-to-wheel-emissies van VOS, EC, PM<sub>2,5,sl</sub> en SO<sub>2</sub> gekwantificeerd.

De emissiekentallen uit Tabel 1 en Tabel 2 zijn slechts een kleine subset van (gemiddelden van) de uitgebreide kentallen die in [de webtool](#) zijn opgenomen.

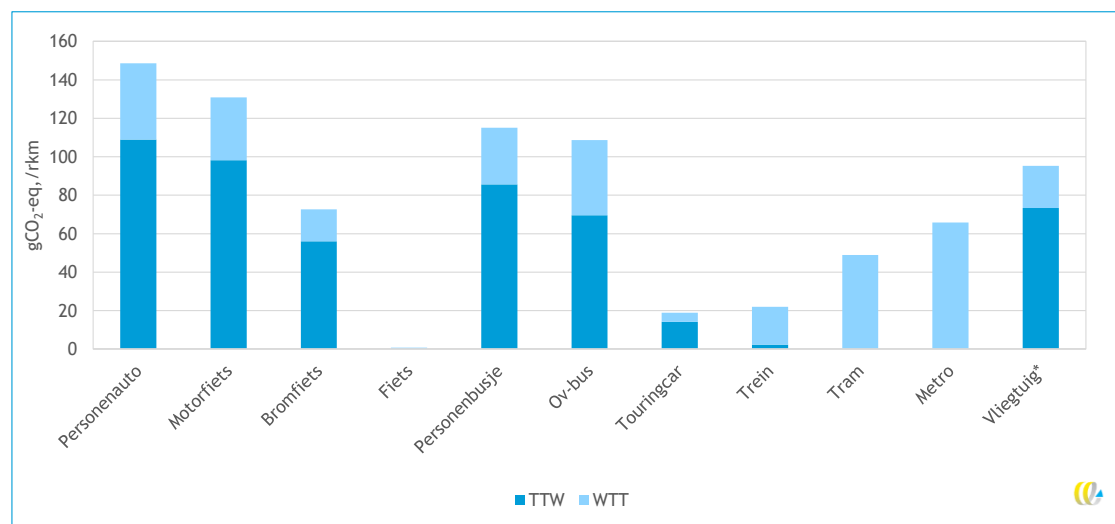
De complete dataset van gedetailleerde kentallen kan worden gevonden in de webtool.

De kentallen voor elektrische voertuigen die wij in dit hoofdstuk presenteren gaan uit van de gemiddelde Nederlandse stroommix. Dit geldt dus ook voor het ov. In het geval van waterstofvoertuigen gaan wij uit van elektrolyse op basis van gemiddelde stroom.

Kentallen voor elektrische voertuigen op basis van 100% groene of grijze stroom en waterstofvoertuigen op basis van 100% groene stroom of steam reforming hebben wij opgenomen in de webtool.

Figuur 4 geeft een overzicht van de well-to-wheel-klimaatemissies per voertuigcategorie, waarbij de tank-to-wheel- en de well-to-tank-emissies gestapeld zijn weergegeven. In de praktijk bestaat de klimaatimpact van luchtvaart voor een aanzienlijk deel door niet-CO<sub>2</sub>-effecten (zie Paragraaf 4.11 voor verdere toelichting). Deze emissies vallen echter buiten de well-to-wheel-methode. De kentallen in deze studie zijn dus een onderschatting van de werkelijke klimaatimpact van luchtvaart. Tot slot hebben wij in deze figuur de ferry niet opgenomen, omdat deze categorie per reizigerskilometer een erg hoge uitstoot van broeikasgassen heeft.

**Figuur 4 - Overzicht gemiddelde well-to-wheel-klimaatemissies (CO<sub>2</sub>-eq.) per voertuigcategorie**

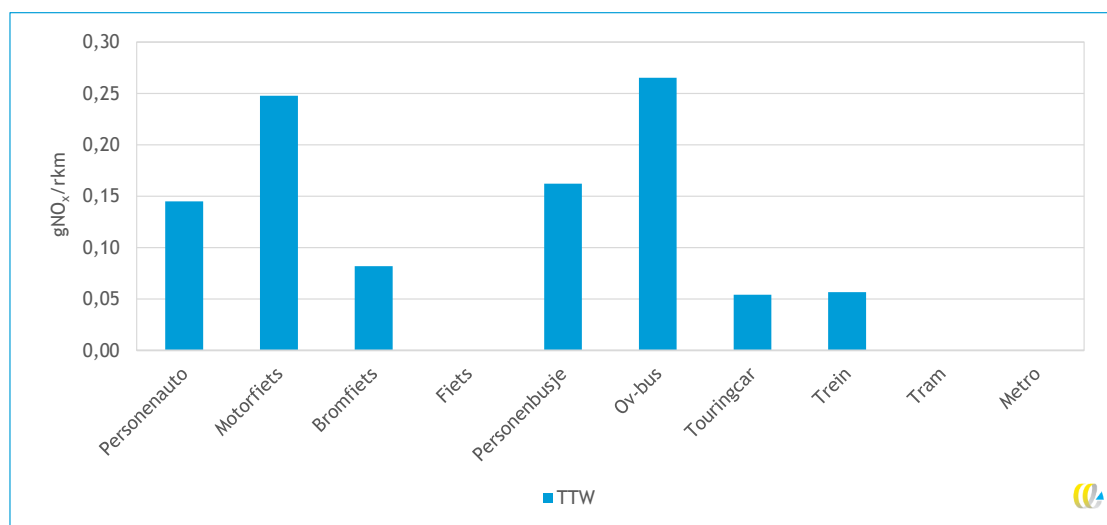


\* Bij luchtvaart wordt de klimaatimpact ook bepaald door 'niet-CO<sub>2</sub>'-effecten. Voor de globale luchtvaart zijn deze uitgedrukt in GWP100, gemiddeld genomen een factor 0,7 van de CO<sub>2</sub>-emissies (EASA et al., 2020). Er wordt echter ook gesteld in de literatuur dat de 'GWP' de niet-CO<sub>2</sub>-effecten onderschat en dat de werkelijke klimaateffecten uitgedrukt in GWP\*100 ongeveer een factor 2,0 van de CO<sub>2</sub>-emissies zijn (EASA et al., 2020). De precieze niet-CO<sub>2</sub>-impact is echter sterk afhankelijk van de vlucht. Wij hebben deze emissies niet gekwantificeerd omdat dit buiten de scope van de studie valt.



Figuur 5 geeft een overzicht van de tank-to-wheel-emissies van stikstofemissies per voertuigcategorie. Wij hebben de well-to-tank-stikstofemissies niet meegenomen in de figuur, omdat deze stikstofuitstoot op andere locaties is en gemiddeld genomen minder schade veroorzaakt<sup>5</sup>. In deze figuur hebben wij de luchtvaart weggelaten, omdat de uitstoot per reizigerskilometer van luchtvaart anders gewaardeerd dient te worden dan bij de andere voertuigcategorieën. Dit komt omdat de uitstoot van stikstof op grote hoogte niet direct tot gezondheidsschade leidt. Om deze reden ligt het bij de luchtvaart meer voor de hand om emissies per *Landing and Take-Off* (LTO)-cyclus te berekenen. De luchtvervuilende emissies van de luchtvaart per LTO-cyclus staan samengevat in Bijlage C.1.

Figuur 5 - Overzicht gemiddelde tank-to-wheel-stikstofemissies (NO<sub>x</sub>) per voertuigcategorie

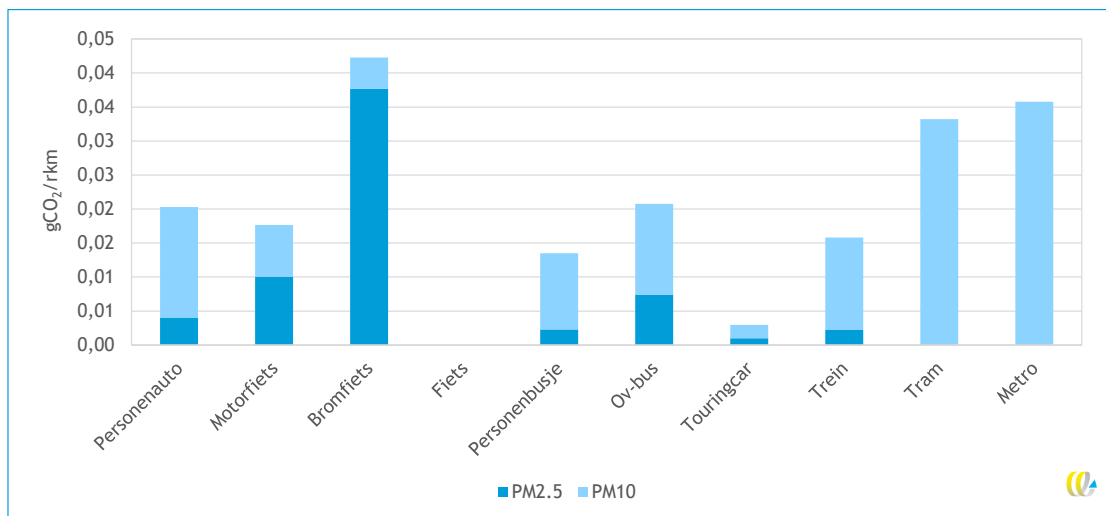


Figuur 6 geeft een overzicht van de tank-to-wheel-fijnstofemissies per voertuigcategorie, waarbij de PM<sub>2,5</sub>- en de PM<sub>10</sub>-emissies (groter dan PM<sub>2,5</sub>) gestapeld zijn weergegeven. De PM<sub>2,5</sub>-emissies zijn een onderdeel van de PM<sub>10</sub>-emissies: de totale PM<sub>10</sub>-emissies zijn dus het totaal van de gestapelde balk. De weergegeven emissies zijn het totaal van de emissies die vrijkomen bij verbranding en slijtage.

Wij hebben de well-to-tank-fijnstofemissies niet meegenomen in de figuur, omdat deze fijnstofuitstoot op andere locaties is en gemiddeld genomen minder schade veroorzaakt. In deze figuur hebben wij de luchtvaart weggelaten, omdat de uitstoot per reizigerskilometer van de luchtvaart anders gewaardeerd dient te worden dan bij de andere voertuigcategorieën. Dit komt omdat de uitstoot van fijnstof op grote hoogte in mindere mate tot gezondheidsschade leidt. Om deze reden ligt het bij de luchtvaart meer voor de hand om emissies per LTO-cyclus te berekenen. De luchtvervuilende emissies van de luchtvaart per LTO-cyclus staan samengevat in Bijlage C.1.

<sup>5</sup> Dit betreft in ieder geval schade aan mens: deze is over het algemeen lager in dunbevolkte gebieden waar brandstof of elektriciteit wordt geproduceerd in vergelijking met dichtbevolkte gebieden waar de voertuigen rondrijden. Wat betreft schade aan natuur is het vooral relevant of de bron van uitstoot zich in de nabijheid van kwetsbare natuur bevindt.

Figuur 6 - Overzicht gemiddelde tank-to-wheel-fijnstofemissies (PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub>) per voertuigcategorie



Tabel 1 - Overzicht gemiddelde emissies per reizigerskilometer voor het wegverkeer in 2022 (g/rkm)

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW				WTT			
			CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq.	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2,5v</sub>	PM <sub>10st</sub>	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Personenauto	Gemiddeld	1,31	148,1	145,1	109,0	0,145	0,002	0,016	39,1	36,1	0,073	0,010
	Benzine	1,31	151,4	148,3	113,4	0,103	0,001	0,017	38,0	34,9	0,077	0,010
	Diesel	1,31	165,6	162,7	123,3	0,376	0,006	0,017	42,4	39,5	0,069	0,011
	Plugin hybride-benzine	1,31	141,6	139,1	104,8	0,009	0,001	0,012	36,8	34,3	0,061	0,007
	Plugin hybride-diesel	1,31	147,7	144,9	105,5	0,186	0,001	0,012	42,2	39,4	0,063	0,006
	LPG	1,31	141,1	138,1	125,2	0,165	0,003	0,017	15,9	12,9	0,114	0,011
	CNG	1,31	154,7	153,6	122,9	0,048	0,002	0,017	31,8	30,7	0,026	0,001
	Batterij-elektrisch	1,31	49,5	46,9	-	-	-	0,012	49,5	46,9	0,035	0,001
Brandstofcel	1,31	133,7	127,1	-	-	-	0,012	133,7	127,1	0,087	0,004	
Motorfiets	Benzine	1,15	130,8	128,2	98,2	0,248	0,009	0,008	32,6	30,0	0,066	0,009
	Batterij-elektrisch	1,15	52,2	49,4	-	-	-	0,006	52,2	49,4	0,036	0,002
Bromfiets	Gemiddeld	1,10	70,6	69,2	54,0	0,079	0,036	0,005	16,5	15,2	0,033	0,004
	Benzine	1,10	72,7	71,4	56,0	0,082	0,037	0,005	16,7	15,3	0,034	0,004
	Batterij-elektrisch	1,10	12,0	11,4	-	-	-	0,003	12,0	11,4	0,008	0,000
Fiets	Gemiddeld	1,00	0,6	0,6	-	-	-	-	0,6	0,6	0,0004	-
	Gewone fiets	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E-Bike	1,00	2,6	2,5	-	-	-	-	2,6	2,5	0,002	-
	Speed pedelec	1,00	3,2	3,0	-	-	-	-	3,2	3,0	0,002	-
Personenbusje	Diesel	2,40	115,1	113,0	85,6	0,162	0,000	0,011	29,5	27,4	0,048	0,008
	Batterij-elektrisch	2,40	44,7	42,3	-	-	-	0,008	44,7	42,3	0,031	0,001
Ov-bus	Gemiddeld	8,11	106,2	104,0	69,5	0,265	0,006	0,013	36,6	34,4	0,045	0,006
	Diesel	8,11	132,8	130,4	98,9	0,360	0,008	0,014	33,9	31,5	0,055	0,009
	HVO100	8,11	19,2	18,8	1,5	0,326	0,007	0,014	17,7	17,2	0,017	0,008
	CNG	8,11	142,0	141,0	111,8	0,433	0,008	0,014	30,2	29,2	0,025	0,001
	Bio-CNG	8,11	40,4	39,5	5,5	0,433	0,008	0,014	34,9	34,1	0,008	0,001
	Batterij-elektrisch	8,11	46,8	44,3	-	-	-	0,011	46,8	44,3	0,033	0,001
	Brandstofcel	8,11	126,3	120,1	-	-	-	0,011	126,3	120,1	0,083	0,004

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW				WTT			
			CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq.	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2,5v</sub>	PM <sub>10st</sub>	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Touringcar	Diesel	48,00	18,8	18,5	14,1	0,054	0,001	0,002	4,7	4,4	0,008	0,001
	HVO100	48,00	2,7	2,6	0,2	0,049	0,001	0,002	2,5	2,4	0,002	0,001
	Batterij-elektrisch	48,00	7,1	6,7	-	-	-	0,001	7,1	6,7	0,005	0,000
Trein	Gemiddeld	29%	18,9	18,0	2,3	0,057	0,002	0,014	16,6	15,7	0,012	0,001
	Stoptrein elektrisch	24%	34,3	32,5	-	-	-	0,028	34,3	32,5	0,024	0,001
	Stoptrein diesel	26%	90,2	88,6	67,6	-	-	0,022	22,6	21,0	0,036	0,004
	Intercity	32%	11,4	10,8	-	-	-	0,009	11,4	10,8	0,008	0,000
	Internationale trein	47%	14,3	13,6	-	-	-	0,012	14,3	13,6	0,010	0,000
Tram	Gemiddeld	35%	40,9	38,7	-	-	-	0,033	40,9	38,7	0,029	0,001
Metro	Gemiddeld	87%	55,0	52,1	-	-	-	0,036	55,0	52,1	0,038	0,002
Vliegtuig**	Gemiddeld	88%	95,2	93,6	73,3	-	-	0,000	21,9	20,3	0,038	0,004
	Korte afstand	86%	142,4	140,0	109,6	-	-	0,002	32,8	30,4	0,056	0,005
	Middellange afstand	85%	94,8	93,2	73,0	-	-	0,000	21,8	20,2	0,037	0,004
	Lange afstand	89%	85,3	83,9	65,7	-	-	0,000	19,6	18,2	0,034	0,003
Veerboot	Diesel	24%	1.445,2	1.420,1	1085,3	-	-	-	359,9	334,9	0,581	0,060
Ov gemiddeld	Gemiddeld	n.v.t.	32,5	31,3	10,7	0,1	0,002	0,012	21,8	20,6	0,018	0,001
Bus/tram/metro gemiddeld	Gemiddeld	n.v.t.	84,2	81,9	42,6	0,2	0,004	0,022	41,6	39,2	0,041	0,004

\* Dit betreft de energie-infrastructuur zoals windmolens, raffinaderijen en kabels. De infrastructuur van het vervoerssysteem, zoals wegen en bruggen, valt buiten de scope van deze kentallen.

\*\* Bij luchtvaart wordt de klimaatimpact ook bepaald door 'niet-CO<sub>2</sub>'-effecten. Voor de globale luchtvaart zijn deze uitgedrukt in GWP100 gemiddeld genomen een factor 0,7 van de CO<sub>2</sub>-emissies (EASA et al., 2020).

Er wordt echter ook gesteld in de literatuur dat de 'GWP' de niet-CO<sub>2</sub>-effecten onderschat en dat de werkelijke klimaateffecten uitgedrukt in GWP\*100 ongeveer een factor 2,0 van de CO<sub>2</sub>-emissies zijn (EASA et al., 2020). De precieze niet-CO<sub>2</sub>-impact is echter sterk afhankelijk van de vlucht. Wij hebben deze emissies niet gekwantificeerd omdat dit buiten de scope van de studie valt.

<sup>1</sup> De kentallen voor elektrische voertuigen in deze tabel zijn berekend met de gemiddelde stroommix als uitgangspunt. Vergelijkbare kentallen bij 100% groene of grijze stroom hebben wij opgenomen in Bijlage E.

<sup>2</sup> De kentallen voor elektrische voertuigen in deze tabel zijn berekend met elektrolyse o.b.v. de gemiddelde stroommix als uitgangspunt. Vergelijkbare kentallen bij 100% groene stroom of steam reforming hebben wij opgenomen in Bijlage E.

Tabel 2 - Overzicht gemiddelde emissies per voertuigkilometer voor het wegverkeer in 2022 (g/vkm)<sup>1</sup>

Voertuig-categorie	Voertuig-techniek	WTW		TTW				WTT			
		CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq.	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2,5v</sub>	PM <sub>10sl</sub>	CO <sub>2</sub> -eq. Incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Personenauto	Gemiddeld	194,5	190,6	143,1	0,19	0,003	0,021	51,3	47,4	0,10	0,013
	Benzine	198,8	194,8	149,0	0,14	0,002	0,022	49,9	45,9	0,10	0,013
	Diesel	217,5	213,7	161,9	0,49	0,008	0,022	55,7	51,8	0,09	0,015
	Plug-in hybride-benzine	186,0	182,7	137,7	0,01	0,002	0,016	48,4	45,0	0,08	0,009
	Plug-in hybride-diesel	194,0	190,3	138,6	0,24	0,001	0,016	55,4	51,7	0,08	0,008
	LPG	185,3	181,4	164,4	0,22	0,004	0,022	20,9	16,9	0,15	0,014
	CNG	203,1	201,7	161,4	0,06	0,002	0,022	41,7	40,3	0,03	0,001
	Batterij-elektrisch <sup>2</sup>	65,1	61,6	-	-	-	0,016	65,1	61,6	0,05	0,002
	Brandstofcel <sup>3</sup>	175,6	167,0	-	-	-	0,016	175,6	167,0	0,11	0,005
Motorfiets	Benzine (gemiddeld)	150,4	147,4	112,9	0,29	0,011	0,009	37,5	34,5	0,08	0,010
	Batterij-elektrisch <sup>2</sup>	60,0	56,8	-	-	-	0,007	60,0	56,8	0,04	0,002
Bromfiets	Gemiddeld	77,6	76,2	59,4	0,09	0,039	0,005	18,2	16,7	0,04	0,005
	Benzine	80,0	78,5	61,6	0,09	0,041	0,005	18,3	16,9	0,04	0,005
	Batterij-elektrisch <sup>2</sup>	13,3	12,6	-	-	-	0,004	13,3	12,6	0,01	0,000
Fiets	Gemiddeld	0,6	0,6	-	-	-	-	0,6	0,6	0,00	-
	Gewone fiets	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E-Bike <sup>2</sup>	2,6	2,5	-	-	-	-	2,6	2,5	0,00	-
	Speed pedelec <sup>2</sup>	3,2	3,0	-	-	-	-	3,2	3,0	0,00	-
Personenbusje	Diesel (gemiddeld)	276,2	271,3	205,5	0,39	0,001	0,027	70,7	65,8	0,11	0,019
	Batterij-elektrisch	107,2	101,6	-	-	-	0,020	107,2	101,6	0,07	0,003
Ov-bus	Gemiddeld	860,6	842,7	563,7	2,15	0,046	0,108	296,9	279,0	0,37	0,050
	Diesel	1.076,4	1.057,4	801,9	2,92	0,064	0,116	274,5	255,5	0,45	0,073
	HVO100	155,6	152,1	12,4	2,64	0,054	0,116	143,2	139,7	0,13	0,068
	CNG	1.151,0	1.142,8	906,5	3,51	0,066	0,116	244,5	236,4	0,20	0,005
	Bio-CNG	327,4	320,4	44,2	3,51	0,066	0,116	283,2	276,2	0,06	0,008
	Batterij-elektrisch <sup>2</sup>	379,3	359,2	-	-	-	0,087	379,3	359,2	0,27	0,011
	Brandstofcel <sup>3</sup>	1.024,0	973,4	-	-	-	0,087	1.024,0	973,4	0,67	0,029

Voertuig-categorie	Voertuig-techniek	WTW		TTW				WTT			
		CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq.	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2,5v</sub>	PM <sub>10sl</sub>	CO <sub>2</sub> -eq. Incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Touringcar	Diesel (gemiddeld)	904,1	888,3	676,5	2,60	0,035	0,095	227,5	211,8	0,37	0,061
	HVO100	128,3	125,3	9,6	2,33	0,030	0,095	118,7	115,7	0,11	0,057
	Batterij-elektrisch <sup>2</sup>	339,9	321,9	-	-	-	0,071	339,9	321,9	0,24	0,010

\* Dit betreft de energie-infrastructuur zoals windmolens, raffinaderijen en kabels. De infrastructuur van het vervoerssysteem, zoals wegen en bruggen, valt buiten de scope van deze kentallen.

<sup>1</sup> De gemiddelde emissies zoals weergegeven in bovenstaande tabel zijn gewogen gemiddeldes over het gehele Nederlandse wagenpark. Hoewel een benzineauto meer emissies per vkm heeft dan een equivalente auto met dieselaandrijving, is de gemiddelde Nederlandse dieselauto groter en zwaarder. Hierdoor komen de gemiddelde emissiekentallen voor diesel hoger uit dan voor benzine. Kentallen per segment maken een meer accurate vergelijking van equivalente autotypes mogelijk. Deze zijn beschikbaar in [de webtool](#).

<sup>2</sup> De kentallen voor elektrische voertuigen in deze tabel zijn berekend met de gemiddelde stroommix als uitgangspunt. Vergelijkbare kentallen bij 100% groene of grijze stroom hebben wij opgenomen in Bijlage E.

<sup>3</sup> De kentallen voor elektrische voertuigen in deze tabel zijn berekend met elektrolyse o.b.v. de gemiddelde stroommix als uitgangspunt. Vergelijkbare kentallen bij 100% groene stroom of steam reforming hebben wij opgenomen in Bijlage E.

# 3 Gebruik kentallen

## 3.1 Emissies bepalen voor een vervoerswijze

In deze paragraaf leggen we uit hoe emissies van een reis te bepalen zijn op basis van de kentallen in dit rapport.

Het volgende stappenplan kan als basis worden gehanteerd:

1. Kies de route die je in beeld wil brengen en de modaliteiten die hierbij horen. Definieer de complete transportketens van begin tot eind: welke modaliteiten worden gebruikt en voor welke afstanden? Voor wegverkeer is ook van belang op welke wegtypes wordt gereden. Het kan handig zijn dit uit te tekenen.
2. Naast de modaliteit is het ook van belang om te kijken naar de eigenschappen van de vervoerswijze. Het gaat dan om: bezettingsgraad, Euroklasse, energiedrager, segment. Als geen data voor de specifieke transportketens beschikbaar is, kan gekozen worden om gemiddelde kentallen te gebruiken.
3. Bepaal welke emissies je in kaart wilt brengen: STREAM gaat in op klimaatemissies (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) en luchtvervuilende emissies (NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>slijtage</sub>, EC, VOS en SO<sub>2</sub>).
4. Kies of de hele brandstofketen in kaart moet worden gebracht (inclusief winning, raffinage en elektriciteitsopwekking) of alleen de directe emissies van de voertuigen (bijvoorbeeld wanneer alleen de lokale effecten van belang worden geacht).
5. Bepaal de gemiddelde emissies per vervoerswijze op basis van de geselecteerde specifieke eigenschappen per stap in de transportketens. Dit gaat het makkelijkst via [de webtool](#).
6. Bepaal aan de hand van de vorige stappen de te gebruiken emissiedata (zie hiervoor de data in Hoofdstuk 2). Gebruik de volgende vergelijking per vervoerswijze (<sub>vw</sub>) om emissies te berekenen.

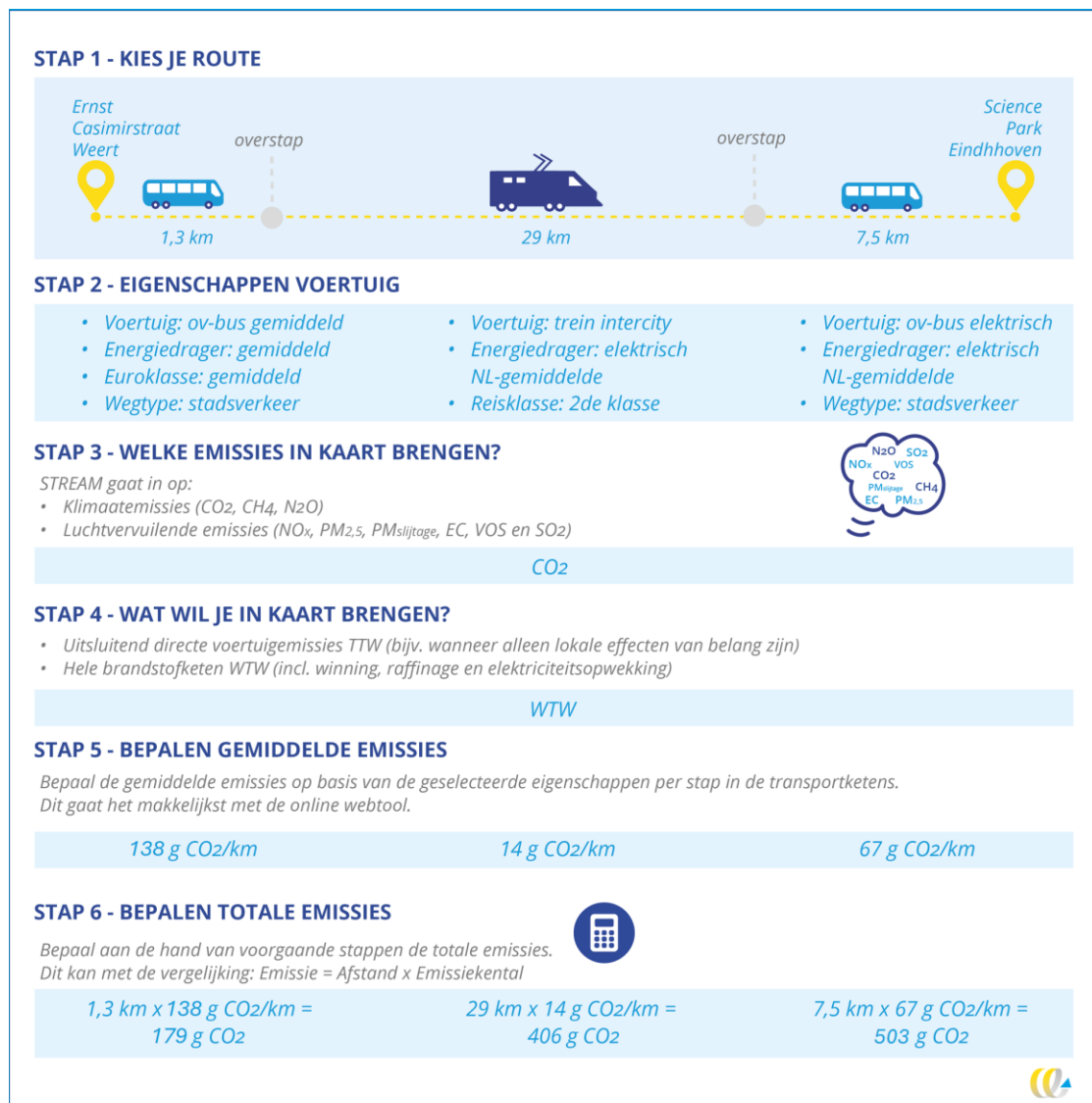
$$\text{Emissie}_{vw} = \text{Afstand}_{vw} \times \text{Emissiekental}_{vw}$$

Voor de totale keten moeten de emissies voor de verschillende vervoerswijzen bij elkaar opgeteld worden. Voor wegverkeer kan bovenstaande berekening ook apart per wegtype worden gemaakt.

In Figuur 7 is een voorbeeld gegeven voor een berekening van emissies voor één reis op basis van emissiekentallen. De reis gaat van de Ernst Casimirstraat in Weert naar het Sciencepark Eindhoven in Son.



Figuur 7 - Voorbeeldberekening op basis van emissiekentallen



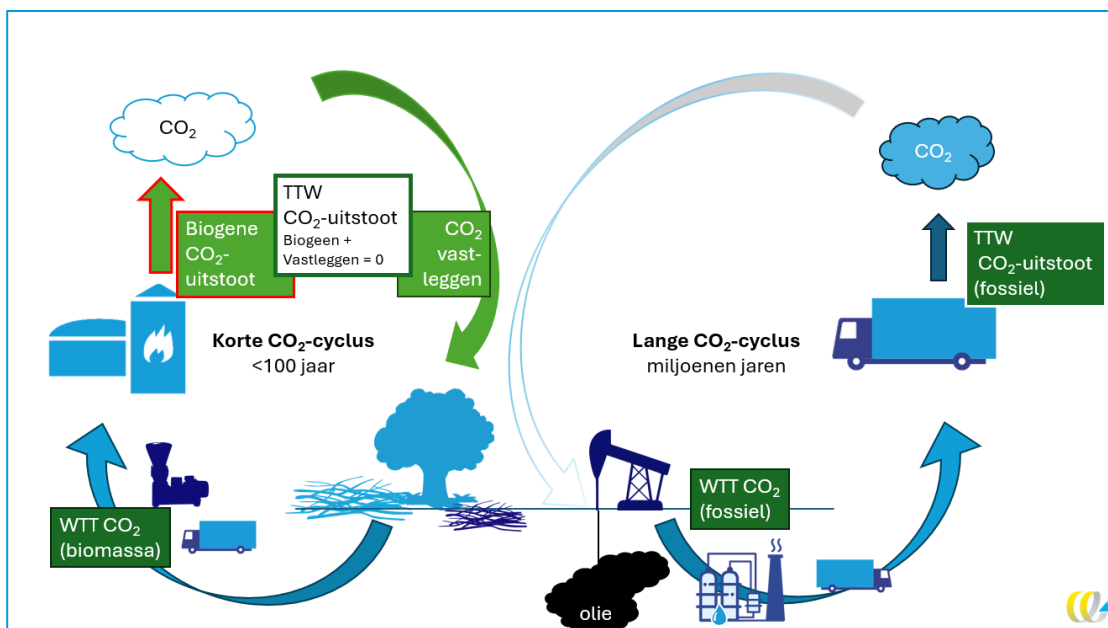
## 3.2 Out-of-scope emissies

STREAM rapporteert emissies van personenvervoer als TTW-, WTT- en WTW-kentallen. Deze categorieën zijn standaardafbakeningen om de klimaatimpact van verkeer en vervoer te kenmerken, maar sommige CO<sub>2</sub>-emissies en andere klimaatimpact valt hier buiten. In deze paragraaf beschrijven we biogene CO<sub>2</sub>-emissies en non-CO<sub>2</sub>-emissies, twee vormen van klimaatimpact die buiten deze scopes vallen. Hoewel de STREAM deze effecten niet expliciet kwantificeert, is het belangrijk om in de inschatting van klimaatimpact rekening te houden met deze effecten.

## Biogene CO<sub>2</sub>-emissies

Biogene CO<sub>2</sub>-emissies zijn emissies die ontstaan bij de verbranding of oxidatie van biomassa. Het zijn CO<sub>2</sub>-emissies die in de GWP100-index<sup>6</sup> niet worden meegerekend, omdat de koolstof kortcyclisch is op een tijdschaal van 100 jaar. Kortcyclisch wil zeggen dat de koolstof relatief recent (op een tijdschaal van 100 jaar) is vastgelegd in biomassa, zoals bij de groei van planten, bomen en andere organismen, en vrijkomt bij de verbranding of oxidatie van deze biomassa. De combinatie van opslag en uitstoot wordt daarom als nul emissies gerekend (zie Figuur 8, links). In Figuur 8 zijn de biogene CO<sub>2</sub>-emissies weergegeven met een oranje rand.

Figuur 8 - Illustratie biogene CO<sub>2</sub> in relatie tot TTW- en WTT-emissies



Biogeen CO<sub>2</sub> is qua fysieke eigenschappen gelijk aan fossiel CO<sub>2</sub>. Biogeen CO<sub>2</sub> in de lucht draagt dus net zo goed bij aan opwarming van de aarde als CO<sub>2</sub> van fossiele bronnen. Biogene CO<sub>2</sub>-emissies worden in reguliere CO<sub>2</sub>-footprints echter voor nul meegerekend, omdat deze CO<sub>2</sub> uit de lucht relatief recent is vastgelegd in biomassa. Deze komt bij verbranding weliswaar weer vrij, maar wordt dus netto niet 'toegevoegd' aan de atmosfeer. Dit toevoegen gebeurt wel bij emissie van fossiel CO<sub>2</sub>. Netto wordt het broeikas effect door biogene CO<sub>2</sub>-emissies dus niet versterkt.

## Niet-CO<sub>2</sub>-emissies

Voor luchtvaart is de bijdrage aan het broeikas effect groter dan alleen die van de CO<sub>2</sub>, methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). Voornamelijk condensstrepen, NO<sub>x</sub>-emissies en effecten op wolkvorming leveren een grote bijdrage aan de opwarming van de aarde. Deze bijdragen treden met name op boven de 9.000 meter. Het effect van deze niet-CO<sub>2</sub>-emissies is echter lokaler en heeft een kortetermijnkarakter.

<sup>6</sup> De GWP100 is de meest gebruikte index om voor broeikasgassen aan te geven hoeveel het gas bijdraagt aan de opwarming van de aarde. GWP100 wordt uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-eq. en beoordeelt het effect over een periode van 100 jaar.

Het effect is echter wel significant en voor 2005 werd ingeschat dat de klimaatimpact (radiative forcing) van luchtvaart voor 40% wordt bepaald door de CO<sub>2</sub> in de lucht afkomstig van luchtvaart en voor 60% door niet-CO<sub>2</sub>-emissies (EASA, 2019). Deze verhouding heeft betrekking op de effecten van de CO<sub>2</sub>-concentraties in de lucht en is daarom niet direct te vertalen naar hoe het effect van de niet-CO<sub>2</sub>-emissies zich verhouden tot de CO<sub>2</sub>-emissies. Hierover is veel discussie en de effecten, van met name wolkvorming zijn moeilijk in te schatten. In sommige methodieken wordt, op basis van GWP100, een factor 1.7 toegepast op de CO<sub>2</sub>-emissies van de vlucht of van de (EASA et al., 2020). Er zijn echter andere bronnen die veronderstellen dat de klimaateffecten van niet-CO<sub>2</sub>-emissies worden onderschat door de GWP-methode. Om deze reden is er een GWP\*100-methode ontwikkeld, die deze effecten beter mee zou moeten nemen. Met deze methode komen de niet-CO<sub>2</sub>-klimaateffecten uit op een factor 2,0 ten opzichte van de CO<sub>2</sub>-klimaateffecten (dus kunnen de totale GWP\*100-effecten worden bepaald door een vermenigvuldiging van de-CO<sub>2</sub>-effecten met een factor van 3,0 ten opzichte van de CO<sub>2</sub>-emissies). Vanwege de onzekerheid in de kwantificatie van het effect en om de scope van de CO<sub>2</sub>-equivalenten (CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- en N<sub>2</sub>O-emissies) duidelijk te houden voor de verschillende modaliteiten hebben we er in STREAM voor gekozen het effect niet in de rapportage op te nemen, maar in wel hier te benoemen.



# 4 Aannames en methode

## 4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk beschrijven we de gekozen aannames en methode voor de berekening van de emissies en het energieverbruik per reizigerskilometer. De methodiek voor het bepalen van de emissiekentallen per reizigerskilometer verschilt per type voertuig en is afhankelijk van de beschikbare data:

- Bij wegverkeer en luchtvaart hebben wij de emissies per passagierskilometer berekend op basis van emissies per voertuigkilometer en de bezetting van het voertuig.
- Bij de trein, metro en tram hebben wij de emissies per reizigerskilometer berekend door de totale emissies over een jaar te delen door het totaal aantal passagierskilometers. Ook hebben wij voor deze categorieën emissies per zitplaatskilometer berekend. Met behulp van de procentuele bezetting hebben we de emissies per reizigerskilometer berekend.

In het algemeen kan een onderscheid worden gemaakt tussen drie soorten emissies:

- **Energieverbruik-afhankelijke emissies** zijn emissies die direct afhankelijk zijn van het energieverbruik en met een vaste vermenigvuldigingsfactor per type energiedrager (diesel, benzine, elektriciteit) direct uit het energieverbruik berekend kunnen worden. De emissies zijn, gegeven de energiedrager van het voertuig, dus niet (of nauwelijks) afhankelijk van de technologie. Alle well-to-tank-emissies zijn afhankelijk van energieverbruik, omdat de emissies van de energieproductie los staan van het type voertuig dat de energie gebruikt. De tank-to-wheel-emissies van CO<sub>2</sub> en SO<sub>2</sub> zijn ook volledig afhankelijk van het energieverbruik. De impliciete aanname daarbij is dat de brandstof volledig wordt verbrand en dat de emissies niet door nabehandelingstechnieken uit de uitlaatgassen worden gefilterd. In de praktijk is dit niet altijd het geval. Bijvoorbeeld bij 2-takt-brommers is sprake van onvolledige verbranding en komen er veel vluchtige organische stoffen vrij. Deze stoffen worden echter in de lucht uiteindelijk wel omgezet in CO<sub>2</sub> en dragen dan alsnog bij aan klimaatverandering. Het netto resultaat is dat alle koolstof wordt omgezet in CO<sub>2</sub>.
- **Energieverbruik- en voertuigafhankelijke emissies** zijn emissies die zowel afhangen van het energieverbruik als van de specifieke technologie. De tank-to-wheel-emissies van CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5,v</sub>, EC en VOS zijn zowel brandstof- als voertuigafhankelijk.
- **Emissies door slijtage**. Deze emissies worden niet direct veroorzaakt door verbranding van brandstof en zijn dus meer afhankelijk van bijvoorbeeld het gewicht van het voertuig of het type banden. De emissies van slijtage die we in deze studie meenemen betreffen PM<sub>10</sub>-emissies en (als onderdeel daarvan) PM<sub>2,5</sub>-emissies die vrijkomen door slijtage van banden, wegdek, rails, bovenleiding, etc. De emissies van PM<sub>2,5</sub> (deeltjes met een doorsnede van minder dan 2,5 micrometer) zijn onderdeel van de PM<sub>10</sub>-emissies (deeltjes met een doorsnede van minder dan 10 micrometer).

STREAM Personenvervoer 2023 bevat uitgesplitste emissiekentallen voor verschillende typen voertuigen, technieken en wegtypen (wegverkeer) of afstandsklassen (spoor en luchtvaart). Anderzijds hebben we ook gemiddelden emissiekentallen voor 2021 berekend.

Voor het bepalen van gemiddelden hebben we op twee manieren geaggregeerd:

- **Aggregatie over wegtypen (voor wegverkeer).** Emissies voor een gemiddeld wegtype zijn bepaald door het gewogen gemiddelde te nemen van de emissies per wegtype ten opzichte van de verdeling van de vervoersprestatie per wegtype.
- **Aggregatie over voertuigtechnologieën.** Emissies voor ‘gemiddelde’ voertuigen zijn bepaald door het voertuigprestatiegewogen gemiddelde te nemen van de emissies van verschillende technologieën die binnen deze categorie vallen. Zo zijn bijvoorbeeld de emissies van gemiddelde benzineauto’s het gewogen gemiddelde van de onderliggende Euroklassen en zijn de emissies van een gemiddelde auto het gewogen gemiddelde van de verschillende brandstoftypen. Voor andere voertuigcategorieën is een vergelijkbare aggregatie gemaakt.

In de hiernavolgende paragrafen lichten we per modaliteit de methodiek verder toe. Per modaliteit geven we in de eerste subparagraaf (Voertuigtechnieken en energiedragers) aan welke verschillende voertuigtechnieken en brandstoffen we onderscheiden voor de verschillende voertuigen. In de tweede subparagraaf (Emissiefactoren per voertuigkilometer) geven we aan hoe de emissies per voertuig- of zitplaatskilometer worden berekend. In de derde subparagraaf (Bezettingsgraden) bespreken we de bezettingsgraden van de voertuigen.

Een gedetailleerde beschrijving van de aannames voor de vervoersprestatie en verdeling over wegtypen hebben wij opgenomen in Bijlage B. In deze paragraaf kan ook precies worden teruggekomen welke samenstelling we hebben verondersteld voor ‘gemiddelde’ voertuigen.

## 4.2 Personenauto

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Wij onderscheiden de volgende categorieën personenauto’s:

- Benzine:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 en Euro 6.
  - We onderscheiden de brandstoftypen: benzine (fossiel), benzine (E10), benzine (E85). Om op E85 te kunnen rijden is een ‘flex-fuel’-motor vereist.
- Diesel:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 en Euro 6.
  - We onderscheiden de brandstoftypen: diesel (fossiel), diesel (B7), diesel (B30) en HVO100. Bij diesel B7 en B30 nemen we aan dat 7% van het volume uit FAME bestaat. Bij B30 hebben wij aangenomen dat 23% van het volume uit HVO bestaat.
- Plug-in hybride-benzine:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: Euro 5 en Euro 6.
  - Bij hybride auto’s kan in principe de keuze in brandstof zowel voor het elektrische energieverbruik (groene stroom of gemiddelde stroom) als voor het benzineverbruik (fossiel, E10 of E85) variëren per gebruiker. Wij hebben deze variaties niet opgenomen om de hoeveelheid categorieën beperkt te houden.

- Plug-in hybride-diesel:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: Euro 5, Euro 6A en Euro 6D.
  - Bij hybride auto's kan in principe de brandstofkeuze zowel voor het elektrische energieverbruik (groene stroom of gemiddelde stroom) als voor het diesilverbruik (fossiel, B7, B30 of HVO100) variëren per gebruiker. Wij hebben deze variaties niet opgenomen om de hoeveelheid categorieën beperkt te houden.
- LPG:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 en Euro 6.
  - Wij onderscheiden de brandstoftypen: fossiele LPG en bio-LPG.
- CNG:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 en Euro 6
  - Wij onderscheiden de brandstoftypen: fossiele CNG en bio-CNG.
- Batterij-elektrisch:
  - Wij onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') of 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).
- Brandstofcel-elektrisch:
  - Wij onderscheiden waterstof geproduceerd door *steam reforming* en waterstof geproduceerd door middel van elektrolyse met gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') of 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa);

Ook hebben wij voor alle typen personenauto's een uitsplitsing naar segment gemaakt (waarin de segmenten A t/m I zijn onderscheiden). De methodiek van deze uitsplitsing hebben we omschreven in Bijlage C van STREAM Personenvervoer 2022.

De emissiekentallen voor deze verschillende typen personenauto's kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van verschillende typen personenauto's in het gemiddelde staat in Bijlage B.1.

## Emissiefactoren per voertuigkilometer

### *Energieverbruik*

Het energieverbruik van personenauto's met een verbrandingsmotor per kilometer hebben wij berekend op basis van de tank-to-wheel-CO<sub>2</sub>-uitstoot van fossiel brandstofverbruik uit (Geilenkirchen et al., 2024) en de CO<sub>2</sub>-emissiefactoren en omrekenfactoren uit Tabel 23. Wij hebben aangenomen dat het energieverbruik van zero-emissie-personenauto's per kilometer gerelateerd is aan het energieverbruik van Euro 6-benzineauto's, conform de correctiefactoren zoals weergegeven in Tabel 3<sup>7</sup>. De correctiefactoren voor batterij-elektrische personenauto's zijn gebaseerd op HBEFA 4.2 (HBEFA, lopend). Daarnaast nemen we op basis van (Alberts, 2021) dezelfde bron aan dat het energieverbruik van waterstofauto's 50% hoger is. Deze factor is een samengesteld effect van extra energieverlies door elektrolyse in de brandstofcel en het ontbreken van laadverliezen ten opzichte van elektrische voertuigen.

<sup>7</sup> In deze correctiefactoren is laadverlies meegenomen.

Tabel 3 - Correctiefactoren energieverbruik per vkm voor zero-emissie-auto's t.o.v. benzineauto's (MJe/MJb)

Type personenauto	Stadswegen	Buitenwegen	Snelwegen
Batterij-elektrisch	35%	36%	44%
Waterstof	53%	54%	66%

Het resulterende energieverbruik per kilometer van verschillende typen personenauto's hebben wij samengevat in Tabel 4.

Tabel 4 - Aannames energieverbruik van verschillende personenauto's (MJ/vkm)

Type personenauto	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Benzine	2,2	2,8	1,8	2,2
Diesel	2,4	3,1	2,3	2,1
LPG	2,5	3,2	2,0	2,5
CNG	2,7	3,4	2,2	2,8
Batterij-elektrisch	0,8	0,9	0,6	0,9
Brandstofcel	1,2	1,4	0,9	1,4

Bij plug-in hybride voertuigen hebben wij aangenomen dat gemiddeld over de wegtypen 30% van de kilometers elektrisch wordt gereden (CE Delft, 2018). In de praktijk verschilt het aandeel dat elektrisch wordt gereden eigenlijk per wegtype. Wij hebben het aandeel dat per wegtype elektrisch wordt gereden gedifferentieerd zoals weergegeven in Tabel 5<sup>8</sup>.

Tabel 5 - Aandeel elektrisch per kilometer voor plug-in hybride personenauto's

Voertuigtype	Stad	Buiten	Snelweg
PHEV - benzine	38%	32%	26%
PHEV - diesel	38%	32%	26%

### *Energieverbruiksafhankelijke emissies*

De energieverbruiksafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik per voertuigkilometer en de brandstofafhankelijke emissiefactoren uit Tabel 23.

### *Energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies*

De tank-to-wheel-emissies van brandstof- en voertuigafhankelijke emissies hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2024). Bij Euro 6-dieselveertuigen hebben wij naast de CO<sub>2</sub>-uitstoot van verbranding ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van ureum<sup>9</sup> in de katalysator gekwantificeerd.

<sup>8</sup> Deze differentiatie hebben wij opgesteld op basis van het de CO<sub>2</sub>-uitstoot van plug-in hybride auto's op verschillende wegtypen. Met deze informatie kunnen we een inschatting maken van het fossiele brandstofverbruik. Vervolgens hebben we een aandeel elektrisch gereden kilometers afgeleid en de resulterende factoren zo geschaald dat gemiddeld het aandeel dat elektrisch wordt gereden op 30% uitkomt.

<sup>9</sup> Ureum is een bestandsdeel van 'AdBlue'. Dit product wordt in Euro 6D-dieselveertuigen gebruikt om de NO<sub>x</sub>-uitstoot te verlagen. Echter leidt dit tot een beperkt hogere CO<sub>2</sub>-uitstoot.



Bij gebruik van (blends van) biobrandstoffen zijn de emissies anders ten opzichte van fossiel brandstoffengebruik. Wij hebben verondersteld dat het energieverbruik per afgelegde kilometer bij alternatieve brandstoffen gelijk is aan het energieverbruik per kilometer bij fossiel brandstofgebruik. De brandstofafhankelijke emissies per kilometer hebben wij vervolgens afgeleid uit Tabel 23.

Voor de brandstof- en voertuigafhankelijke emissies hebben we de volgende aannames gemaakt:

- Bij verbranding van HVO100, B7 of B30 zijn de tank-to-wheel-emissies van CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, VOS en EC per MJ brandstof gelijk verondersteld aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Dit is in lijn met de aannames van STREAM Goederenvervoer (CE Delft, 2021a).
- Bij verbranding van HVO100 in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 10% lager, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 20% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B30 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 7% hoger, terwijl de PM<sub>2,5</sub> emissies 13% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B7 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager hebben wij (op basis van lineaire interpolatie tussen B30 en fossiele diesel) aangenomen dat de emissies van NO<sub>x</sub> per MJ 2% hoger zijn en de emissies van PM<sub>10</sub> 3% lager in vergelijking met fossiele diesel.
- Bij verbranding van E85 hebben wij op basis van HBEFA 4.2 verondersteld dat de emissies van fijnstof 30% lager zijn ten opzichte van verbranding van fossiele benzine (HBEFA, lopend). De overige emissies zijn gelijk verondersteld.
- Bij verbranding van E10 hebben wij (op basis van lineaire interpolatie tussen E85 en fossiele benzine) aangenomen dat de emissies van PM<sub>10</sub> 2% lager zijn in vergelijking met fossiele benzine.
- De brandstof- en voertuigafhankelijke emissies van bio-CNG gelijk zijn aan de emissies van fossiele CNG.
- We hebben verondersteld dat de brandstof- en voertuigafhankelijke emissies van bio-LPG gelijk zijn aan de emissies van fossiele LPG.

## Slijtage

De emissies van fijnstof door slijtage van fossiele personenauto's hebben wij niet geüpdatet, en net als voorgaande jaren gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Bij elektrische-, waterstof- en plug-in hybride personenauto's hebben wij aangenomen dat, als gevolg van de remenergie-terugwinning, de fijnstofemissies door slijtage 25% lager zijn (TNO, 2015).

## Bezettingsgraden

De gemiddelde bezetting van personenauto's is 1,31, gebaseerd op de mobiliteitscijfers per persoon (CBS, lopend).

In de [webtool](#) kan naar wens de bezetting worden ingesteld. De gebruiker is volledig vrij om de bezetting zelf in te stellen. Wanneer het de wens is om gemiddelde bezettingsgraden voor specifieke reismotieven te gebruiken, kan gebruik worden gemaakt van de bezettingsgraden zoals weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 - Bezettingsgraden personenauto's per reismotief

Reismotief	Bezetting per personenauto
Woon-werk	1,07
Zakelijk	1,07
Diensten, persoonlijke verzorging	1,38
Winkelen, boodschappen doen	1,27
Onderwijs, cursus, kinderopvang	3,00
Visite	1,55
Uitgaan, sport, hobby	1,75
Toeren, wandelen	1,57
Overige reismotieven	1,20

## 4.3 Motorfiets

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Wij onderscheiden de volgende categorieën motorfietsen:

- Benzine:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5.
  - We onderscheiden de brandstoftypen: benzine (fossiel), benzine (E10), benzine (E85). Om op E85 te kunnen rijden is een 'flexi-fuel'-motor vereist.
- Batterij-elektrisch:
  - We onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') of 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).

De emissiekentallen voor deze verschillende typen motorfietsen kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van de verschillende typen motorfietsen in het gemiddelde staat in Bijlage B.2.

### Emissiefactoren per voertuigkilometer

Het energieverbruik per voertuigkilometer voor benzinemotorfietsen hebben we berekend op basis van de tank-to-wheel-CO<sub>2</sub>-uitstoot van fossiel brandstofverbruik uit het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2024) en de omrekenfactoren uit Tabel 23.

Voor elektrische motorfietsen is het energieverbruik per kilometer afgeleid met behulp van omrekenfactoren op basis van HBEFA 4.2 (zie Tabel 7)<sup>10</sup>.

Tabel 7 - Correctiefactoren energieverbruik per vkm voor elektrische motorfietsen t.o.v. benzinemotorfietsen (MJe/MJb)

Type motorfiets	Stadswegen	Buitenwegen	Snelwegen
Batterij-elektrisch	29%	39%	55%

Het resulterende energieverbruik per voertuigkilometer voor verschillende typen motorfietsen is samengevat in Tabel 8.

Tabel 8 - Aannames energieverbruik van verschillende motorfietsen (MJ/vkm)

Type motorfiets	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Benzine	1,6	1,8	1,4	1,8
Batterij-elektrisch	0,7	0,5	0,5	1,0

De energieverbruiksafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik en de emissiefactoren uit Tabel 23.

De energieverbruik- en voertuigafhankelijke emissies hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Voor motorfietsen bevat deze studie echter geen kentallen voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot. De CO<sub>2</sub>-uitstoot van motorfietsen hebben wij daarom gebaseerd op de parkemissiefactoren van het CBS (2022c). Deze bron maakt geen onderscheid naar Euroklassen. Om deze reden hebben we verondersteld dat de CO<sub>2</sub>-emissies van de verschillende Euroklassen van motorfietsen gelijk is.

De emissies van PM<sub>10</sub> door slijtage van benzinemotorfietsen hebben we gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Bij elektrische bromfietsen hebben wij aangenomen dat, als gevolg van de remenergie-terugwinning, de fijnstofemissies door slijtage 25% lager zijn (TNO, 2015).

### *Bezettingsgraden*

Wij zijn uitgegaan van een gemiddelde bezettingsgraad voor motorfietsen van 1,15. Dit is dezelfde aanname als in de vorige versie van STREAM Personenvervoer.

## 4.4 Bromfiets

### Voertuigtechnieken en energiedragers

De categorie 'bromfiets' in STREAM bestaat uit zowel de 'bromfiets' (tot 45 km/h) als de 'snorfiets' (tot 35 km/h). Op basis van beschikbare data is er moeilijk onderscheid te maken tussen deze twee categorieën. Deze beide categorieën hebben we daarom samengenomen.

<sup>10</sup> In deze correctiefactoren is laadverlies meegenomen.

We onderscheiden voor de bromfiets de volgende energiedragers en voertuigtechnieken:

- Benzine:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 2 (2-takt), Euro 2 (4-takt), Euro 3, Euro 4, Euro 5.
  - We onderscheiden de brandstoftypen: benzine (fossiel), benzine (E10), benzine (E85). Om op E85 te kunnen rijden is een ‘flexi-fuel’-motor vereist.
- Batterij-elektrisch:
  - We onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en ‘overig fossiel’) of 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).

De emissiekentallen voor deze verschillende typen bromfietsen kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van de verschillende typen bromfietsen in het gemiddelde staat in Bijlage B.3.

Er bestaan ook Euro 1-bromfietsen. Deze categorie is echter niet opgenomen in het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2024). We hebben deze categorie vanwege gebrek aan data ook niet opgenomen in de online-dataset van STREAM.

## Emissiefactoren per voertuigkilometer

Het energieverbruik per voertuigkilometer voor benzinebromfietsen hebben wij berekend op basis van de tank-to-wheel-CO<sub>2</sub>-uitstoot van fossiel brandstofverbruik uit het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2024) en de omrekenfactoren uit Tabel 23. Voor elektrische bromfietsen hebben wij het energieverbruik bepaald met behulp van de omrekenfactoren voor motorfietsen op basis van HBEFA 4.2.

Het resulterende energieverbruik per voertuigkilometer voor verschillende typen bromfietsen hebben wij samengevat in Tabel 9.

Tabel 9 - Aannames energieverbruik van verschillende bromfietsen (MJ/vkm)

Type bromfiets	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg
Benzine	0,8	0,8	0,9
Batterij-elektrisch	0,2	0,2	0,2

De brandstofafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik met behulp van de brandstofafhankelijke emissiefactor uit Tabel 23. De energieverbruik- en voertuigafhankelijke emissies hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Voor bromfietsen bevat deze studie echter geen kentallen voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot. De CO<sub>2</sub>-uitstoot van bromfietsen hebben wij daarom gebaseerd op (Van Zyl et al., 2014).

De emissies van fijnstof door slijtage van benzinebromfietsen hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Bij elektrische bromfietsen hebben wij aangenomen dat, als gevolg van de remenergie-terugwinning, de fijnstofemissies door slijtage 25% lager zijn (TNO, 2015).

## Bezettingsgraden

Wij zijn uitgegaan van een gemiddelde bezettingsgraad voor bromfietsen van 1,1. Dit is dezelfde aanname als in de vorige versie van STREAM Personenvervoer.

## 4.5 Fiets

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Wij onderscheiden de volgende categorieën fietsen:

- Gewone fiets:
  - Deze categorie betreft gewone fietsen die volledig met spierkracht worden aangedreven.
- Elektrische fiets:
  - Deze categorie betreft elektrische fietsen met een maximumsnelheid van 25 km/h.
  - Wij onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en ‘overig fossiel’) of 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).
- Speed pedelec:
  - Deze categorie betreft elektrische fietsen met een hogere maximumsnelheid van 45km/h.
  - Wij onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en ‘overig fossiel’) of 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).

De emissiekentallen voor deze verschillende typen fietsen kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van de verschillende typen fietsen in het gemiddelde staat in Bijlage B.4.

### Emissiefactoren per voertuigkilometer

Wij hebben de volgende aannames gemaakt voor het energieverbruik van elektrische fietsen:

- voor gewone elektrische fietsen zijn wij uitgegaan van een energieverbruik van 7,5 wattuur/km (Fietzersbond, 2017);
- voor speed pedelecs zijn wij uitgegaan van een energieverbruik van 11 wattuur/km (Speedpedelec.org);
- in beide gevallen hebben wij rekening gehouden met een laadverlies van 20%.

Het resulterende energieverbruik per kilometer hebben wij samengevat in Tabel 10.

Tabel 10 - Aannames energieverbruik van elektrische fietsen (MJ/vkm)

Type fiets	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg
Gewone elektrische fiets	0,03	0,03	0,03
Speed pedelec	0,04	0,04	0,04

Voor elektrische fietsen hebben wij well-to-tank-emissies berekend op basis van het energieverbruik en de emissiefactoren voor elektriciteit uit Tabel 23.

Dit zijn vrij grove aannames die mogelijk kunnen afwijken van het werkelijke gemiddelde energieverbruik binnen deze categorieën.

Wij hebben geen emissies van slijtage van fietsen gekwantificeerd, omdat deze relatief zeer laag zijn ten opzichte van andere voertuigen. Ook zijn hiervan zijn geen gegevens beschikbaar.

## Bezettingsgraden

Wij zijn voor alle soorten fietsen uitgegaan van een bezettingsgraad van één persoon per fiets.

## 4.6 Personenbusje

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Voor de personenbus zijn wij uitgegaan van een dieselbus met een vervoerscapaciteit van acht personen (exclusief chauffeur).

Wij onderscheiden de volgende categorieën personenbusjes:

- Diesel:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5, Euro 6A en Euro 6D.
  - Wij onderscheiden de brandstoftypen: diesel (fossiel), diesel (B7), diesel (B30) en diesel (HVO100). Bij diesel B7 en B30 nemen we aan dat 7% van het volume uit FAME bestaat. Bij B30 hebben wij aangenomen dat 23% van het volume uit HVO bestaat.
- Batterij-elektrisch:
  - Wij onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') of 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).

De emissiekentallen voor deze verschillende typen personenbusjes kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van de verschillende typen personenbusjes in het gemiddelde staat in Bijlage B.5.

## Emissiefactoren per voertuigkilometer

### *Energieverbruik*

De personenbus komt niet voor in de lijst met voertuigen van de Emissieregistratie. Daarom hebben wij, in lijn met de vorige editie van STREAM Personenvervoer, aangenomen dat het energieverbruik van personenbusjes vergelijkbaar is met dat van een gemiddelde bestelauto (CE Delft, 2014). Wij hebben aangenomen dat het energieverbruik van personenbusjes gelijk is aan het energieverbruik van bestelauto's met een leeggewicht van 1,5-2 ton volgens (CE Delft, 2021a). Vervolgens hebben wij de CO<sub>2</sub>-emissies bepaald met behulp van de omrekenfactor uit Tabel 23.

Wij hebben aangenomen dat de verhouding in het energieverbruik tussen elektrische personenbusjes en Euro 6D-dieselpersonenbusjes gelijk is aan de verhouding bij ov-bussen (zie Tabel 12).

Het resulterende energieverbruik per voertuigkilometer van verschillende typen personenbusjes hebben wij samengevat in Tabel 11.

Tabel 11 - Aannames energieverbruik van verschillende personenbusjes (MJ/vkm)

Type personenbusje	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Diesel	3,0	3,3	2,5	3,0
Batterij-elektrisch	1,3	1,4	1,1	1,5

### *Energieverbruiksafhankelijke emissies*

De energieverbruiksafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik met behulp van de brandstofafhankelijke emissiefactor uit Tabel 23.

### *Energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies*

In de EU-regelgeving viel de personenbus oorspronkelijk onder de Euronormering van bestelwagens (light duty). Sinds de Euro 5-norm valt de personenbus qua norm onder de personenauto. Daarom hebben wij de luchtvervuilende emissies voor personenbusjes met Euroklasse 1 t/m 4 berekend op basis van de emissiefactoren voor de bestelauto. De luchtvervuilende emissies van Euro 5- en Euro 6-personenbusjes hebben wij gelijk verondersteld aan de emissies van dieselpersonenauto's met eenzelfde Euroklasse.

De energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies hebben we gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2024). Bij personenbusjes van diesel Euroklasse Euro 6 hebben we naast de CO<sub>2</sub>-uitstoot van verbranding ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van ureum in de katalysator gekwantificeerd.

Bij gebruik van (blends van) biobrandstoffen zijn de emissies anders ten opzichte van fossiel brandstoffengebruik. Wij hebben verondersteld dat het energieverbruik per afgelegde kilometer bij alternatieve brandstoffen gelijk is aan het energieverbruik per kilometer bij fossiel brandstofgebruik. De brandstofafhankelijke emissies per kilometer hebben we vervolgens afgeleid uit Tabel 23.



Voor de brandstof- en voertuigafhankelijke emissies zijn de volgende aannames gemaakt:

- Bij verbranding van HVO100, B7 of B30 hebben wij de tank-to-wheel-emissies van CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, VOS en EC per MJ brandstof gelijk verondersteld aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Dit is in lijn met de aannames van STREAM Goederenvervoer.
- Bij verbranding van HVO100 in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 10% lager, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 20% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B30 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 7% hoger, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 13% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B7 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager hebben wij (op basis van lineaire interpolatie tussen B30 en fossiele diesel) aangenomen dat de emissies van NO<sub>x</sub> per MJ 2% hoger zijn en de emissies van PM<sub>10</sub> 3% lager in vergelijking met fossiele diesel.

### *Slijtage*

Ook de emissies van fijnstof door slijtage van personenbusjes hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022).

Bij elektrische personenbusjes hebben wij aangenomen dat, als gevolg van de remenergie-terugwinning, de fijnstofemissies door slijtage 25% lager zijn (TNO, 2015).

### **Bezettingsgraden**

De bezettingsgraad van personenbusjes is sterk afhankelijk van het soort personenbus. We hebben in deze studie geen nieuwe informatie kunnen achterhalen ten opzichte van STREAM Personenvervoer 2014 (CE Delft, 2014). Om deze reden hebben wij dezelfde aannames gehanteerd:

- Gemiddeld gaan wij uit van een bezettingsgraad van 2,4. Dit is representatief voor een taxi/belbus.
- Een alternatieve bezettingsgraad die in [de webtool](#) kan worden gekozen voor besloten vervoer is 5,0.

## 4.7 Ov-bus

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Wij onderscheiden de volgende categorieën ov-bussen:

- Diesel:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 en Euro 6.
  - We onderscheiden de brandstoftypen: diesel (fossiel), diesel (B7), diesel (B30) en diesel (HVO100). Bij diesel B7 en B30 nemen we aan dat 7% van het volume uit FAME bestaat. Bij B30 hebben wij aangenomen dat 23% van het volume uit HVO bestaat.
- CNG:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: Euro 5 en Euro 6.
  - We onderscheiden de brandstoftypen: fossiele CNG en bio-CNG.
- Batterij-elektrisch:
  - We onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en ‘overig fossiel’) of 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).
- Brandstofcel-elektrisch:
  - We onderscheiden waterstof geproduceerd door *steam reforming* en waterstof geproduceerd door middel van elektrolyse met gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en ‘overig fossiel’) of 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).

De emissiekentallen voor deze verschillende typen ov-bussen kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van de verschillende typen ov-bussen in het gemiddelde staat in Bijlage B.6.

### Emissiefactoren per voertuigkilometer

#### *Energieverbruik*

Het energieverbruik per voertuigkilometer hebben wij bepaald op basis van de tank-to-wheel-CO<sub>2</sub>-uitstoot bij verbranding van fossiele diesel conform (Geilenkirchen et al., 2024). en Tabel 23.

Wij hebben het energieverbruik van elektrische ov-bussen per kilometer gebaseerd op het relatieve energieverbruik ten opzichte van Euro 6-dieselbussen uit HBEFA 4.2 (zie Tabel 12). Daarnaast hebben wij verondersteld dat het energieverbruik van waterstofauto's 50% hoger is (Alberts, 2021). Deze factor is een samengesteld effect van extra energieverlies door elektrolyse in de brandstofcel en het ontbreken van laadverliezen ten opzichte van elektrische voertuigen. Wij hebben de gehanteerde correctiefactoren samengevat in Tabel 12.

Tabel 12 - Correctiefactoren energieverbruik per vkm voor zero-emissie-ov-bussen t.o.v. diesel-ov-bussen (MJe/MJd)

Type ov-bus	Stadswegen	Buitenwegen	Snelwegen
Batterij-elektrisch	40%	43%	49%
Waterstof	60%	65%	73%

Het resulterende energieverbruik per voertuigkilometer van verschillende typen ov-bussen hebben wij samengevat in Tabel 11.

Tabel 13 - Aannames energieverbruik van verschillende ov-bussen (MJ/vkm)

Type ov-bus	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Diesel	11,5	13,7	8,7	7,0
Batterij-elektrisch	4,6	5,5	3,5	3,1
Waterstof	7,0	8,2	5,3	4,6

### *Energieverbruiksafhankelijke emissies*

De energieverbruiksafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik met behulp van de brandstofafhankelijke emissiefactor uit Tabel 23.

### *Energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies*

De energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2024). Bij ov-bussen van Euroklasse Euro 5 en Euro 6 hebben wij naast de CO<sub>2</sub>-uitstoot van verbranding ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van ureum in de katalysator gekwantificeerd.

Bij gebruik van (blends van) biobrandstoffen zijn de emissies anders ten opzichte van fossiel brandstoffengebruik. Wij hebben verondersteld dat het energieverbruik per afgelegde kilometer bij alternatieve brandstoffen gelijk is aan het energieverbruik per kilometer bij fossiel brandstofgebruik. De brandstofafhankelijke emissies per kilometer hebben wij vervolgens afgeleid uit Tabel 23.

Voor de brandstof- en voertuigafhankelijke emissies zijn de volgende aannames gemaakt:

- Bij verbranding van HVO100, B7 of B30 hebben wij de tank-to-wheel-emissies van CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, VOS en EC per MJ brandstof gelijk verondersteld aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Dit is in lijn met de aannames van STREAM Goederenvervoer (CE Delft, 2021a).
- Bij verbranding van HVO100 in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 10% lager, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 20% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B30 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 7% hoger, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 13% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).

- Bij verbranding van B7 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager hebben wij (op basis van lineaire interpolatie tussen B30 en fossiele diesel) aangenomen dat de emissies van NO<sub>x</sub> per MJ 2% hoger zijn en de emissies van PM<sub>10</sub> 3% lager in vergelijking met fossiele diesel.

### *Slijtage*

Ook de emissies van fijnstof door slijtage van dieselbussen hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Bij elektrische- en waterstofbussen hebben wij aangenomen dat, als gevolg van de remenergieterugwinning, de fijnstofemissies door slijtage 25% lager zijn.

### **Bezettingsgraden**

De gemiddelde bezetting voor ov-bussen in 2019 was 7,19 personen (CROW-KpVV, 2020).

## **4.8 Touringcar**

### **Voertuigtechnieken en energiedragers**

Wij onderscheiden de volgende categorieën touringcars:

- Diesel:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 (EGR) en Euro 6.
  - Wij onderscheiden de brandstoftypen: diesel (fossiel), diesel (B7), diesel (B30) en diesel (HVO100). Bij diesel B7 en B30 nemen we aan dat 7% van het volume uit FAME bestaat. Bij B30 hebben wij aangenomen dat 23% van het volume uit HVO bestaat.
- Batterij-elektrisch:
  - We onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') of 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).
- Brandstofcel-elektrisch:
  - Wij onderscheiden waterstof geproduceerd door *steam reforming* en waterstof geproduceerd door middel van elektrolyse met gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') of 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).

De emissiekentallen voor deze verschillende typen touringcars kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De wegging van de verschillende typen touringcars in het gemiddelde staat in Bijlage B.7.

### **Emissiefactoren per voertuigkilometer**

#### *Energieverbruik*

Het energieverbruik per voertuigkilometer hebben wij bepaald op basis van de tank-to-wheel-CO<sub>2</sub>-uitstoot bij verbranding van fossiele diesel conform het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2024) en Tabel 23.

Wij hebben het energieverbruik van elektrische touringcars per kilometer gebaseerd op het relatieve energieverbruik ten opzichte van Euro 6-touringcarbussen uit HBEFA 4.2<sup>11</sup>. Daarnaast hebben wij verondersteld dat het energieverbruik van waterstofauto's 50% hoger is (CE Delft, 2021a). Deze factor is een samengesteld effect van extra energieverlies door elektrolyse in de brandstofcel en het ontbreken van laadverliezen ten opzichte van elektrische voertuigen. De gehanteerde aannames staan samengevat in Tabel 14.

Tabel 14 - Correctiefactoren energieverbruik per vkm voor zero-emissie-touringcars t.o.v. dieseltouringcars (MJe/MJd)

Aandrijflijn	Stadswegen	Buitenwegen	Snelwegen
Batterij-elektrisch	40%	43%	49%
Waterstof	60%	65%	73%

Het resulterende energieverbruik per voertuigkilometer van verschillende typen touringcars hebben wij samengevat in Tabel 15.

Tabel 15 - Aannames energieverbruik van verschillende touringcars (MJ/vkm)

Type touringcar	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Diesel	9,6	12,2	8,5	8,9
Batterij-elektrisch	4,2	4,7	3,6	4,2
Waterstof	6,3	7,1	5,4	6,3

### *Energieverbruiksafhankelijke emissies*

De energieverbruiksafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik met behulp van de brandstofafhankelijke emissiefactor uit Tabel 23.

### *Energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies*

De energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies hebben wij gebaseerd op de data HBEFA 4.2<sup>12</sup>. Bij touringcars van Euroklasse Euro 5 en Euro 6 hebben wij naast de CO<sub>2</sub>-uitstoot van verbranding ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van ureum in de katalysator gekwantificeerd.

Wij hebben aangenomen dat het energieverbruik van zero-emissie-touringcars per kilometer is gebaseerd op het relatieve energieverbruik (t.o.v. Euro 6-diesalbussen) zoals in HBEFA 4.2 is gegeven en is te vinden in (HBEFA, lopend).

De brandstofafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik met behulp van de brandstofafhankelijke emissiefactor uit Tabel 23.

Bij gebruik van (blends van) biobrandstoffen zijn de emissies anders ten opzichte van fossiel brandstoffengebruik. Wij hebben verondersteld dat het energieverbruik per afgelegde kilometer bij alternatieve brandstoffen gelijk is aan het energieverbruik per kilometer bij fossiel brandstofgebruik. De brandstofafhankelijke emissies per kilometer hebben wij vervolgens afgeleid uit Tabel 23.

<sup>11</sup> Hiervoor is type 'coach' van grootte klasse 'Standard tot 18 t' (een brutogewicht tot maximaal 18 ton) gekozen.

<sup>12</sup> Hiervoor is type 'coach' van grootte klasse 'Standard tot 18t' (een brutogewicht tot maximaal 18 ton) gekozen.

Voor de brandstof- en voertuigafhankelijke emissies zijn de volgende aannames gemaakt:

- Bij verbranding van HVO100, B7 of B30 hebben wij de tank-to-wheel-emissies van CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, VOS en EC per MJ brandstof gelijk verondersteld aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Dit is in lijn met de aannames van STREAM Goederenvervoer (CE Delft, 2021a).
- Bij verbranding van HVO100 in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 10% lager, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 20% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B30 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 7% hoger, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 13% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B7 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager hebben wij (op basis van lineaire interpolatie tussen B30 en fossiele diesel) aangenomen dat de emissies van NO<sub>x</sub> per MJ 2% hoger zijn en de emissies van PM<sub>10</sub> 3% lager in vergelijking met fossiele diesel.

### *Slijtage*

Ook de emissies van PM<sub>10</sub> door slijtage van dieseltouringcars hebben wij gebaseerd op de HBEFA 4.2-database. De emissies van PM<sub>2,5</sub> door slijtage hebben wij bepaald als fractie van de uitstoot van PM<sub>10</sub> op basis van het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Bij elektrische- en waterstoftouringcars hebben wij aangenomen dat, als gevolg van de remenergieterugwinning, de fijnstofemissies door slijtage 25% lager zijn (TNO, 2015).

### **Bezettingsgraden**

Wij hebben op basis van (Panteia, 2022) aangenomen dat de gemiddelde bezetting van touringcars 48 is.

## **4.9 Trein**

### **Voertuigtechnieken en energiedragers**

Binnen de categorie treinen onderscheiden wij de volgende treinen:

- internationale trein (elektrisch);
- intercity (elektrisch);
- stoptrein (elektrisch);
- stoptrein (diesel)<sup>13</sup>.

De emissiekentallen voor deze verschillende typen treinen kunnen worden teruggevonden in het rapport en [de webtool](#). De wegging van de verschillende typen treinen in het gemiddelde staat in Bijlage B.8.

<sup>13</sup> Alle regionale treinen hebben wij als stoptreinen geïnclassificeerd. In de praktijk is er ook in een enkel geval sprake van een regionale trein die geen stoptrein is (in ieder geval de sneltrein tussen Leeuwarden en Groningen van Arriva).

Voor alle elektrische treinen hebben wij zowel emissiekentallen berekend die uitgaan van de Nederlandse gemiddelde stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') als emissiekentallen die uitgaan van 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).

Voor alle typen treinen geldt dat dit aggregaties zijn van verschillende onderliggende treintypen die uiteenlopen qua lengte en type motor. Zo kan voor dieseltreinen een onderscheid worden gemaakt tussen Stage 1- t/m Stage 5-motoren. In de praktijk maakt dit onderscheid veel uit voor de uitstoot van luchtvervuilende stoffen. We hebben ons in deze studie echter beperkt tot de emissies van de gemiddelde categorieën zoals hiervoor beschreven.

## Emissiefactoren per zitplaatskilometer

Het energieverbruik per zitplaatskilometer voor intercity's en NS-stoptreinen was geleverd door de NS (NS-treinen) en Duinn (regionale treinen). Deze informatie is gebaseerd op het totale jaarlijkse energieverbruik en de vervoersprestatie van treinen. Voor internationale treinen beschikken deze partijen niet over representatieve schattingen van het energieverbruik. Om deze reden hebben wij het energieverbruik van internationale treinen ingeschat op basis van het energieverbruik van Duitse internationale treinen volgens (Fraunhofer ISI et al., 2020). Deze informatie hebben wij samengevat in Tabel 16.

Tabel 16 - Energieverbruik treinen in 2019

Categorie	Energieverbruik (MJ/zpkm)
Intercity	0,05
Internationale trein	0,08
Stoptrein (diesel)	0,24
Stoptrein (elektrisch)	0,10

De well-to-tank-emissies door energieopwekking van elektrische treinen hebben wij berekend met behulp van het energieverbruik per kilometer en de emissiefactoren uit Tabel 23. Elektrische treinen hebben geen tank-to-wheel-emissies.

De energieverbruiksafhankelijke emissies van dieseltreinen hebben wij ook berekend met behulp van de emissiefactoren uit Tabel 23. De emissies van NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5,v</sub> en VOS hebben wij bepaald op basis van (CE Delft, 2020).

De emissies van fijnstof door slijtage hebben wij gebaseerd op (IKA, 2007). Dit is een verouderde bron voor Zwitserse treinen die ook bij de voorgaande versie van STREAM het uitgangspunt vormde. Een literatuurstudie heeft echter uitgewezen dat er geen recentere informatie beschikbaar is. De aangenomen emissies van slijtage zijn weergegeven in Tabel 17.

Tabel 17 - Emissies van slijtage van treinen

Categorie	PM <sub>10</sub> -slijtage (g/MJ)
Trein elektrisch	0,023
Trein diesel	0,065

## Bezettingsgraden

De procentuele bezettingsgraden ten opzichte van volledige bezetting van intercity's en stoptreinen hebben we berekend door het totaal aantal reizigerskilometers te delen door de zitplaatskilometers. De gemiddelde bezetting van internationale treinen is apart aangeleverd door de NS. Deze bezetting van 47% is een gewogen gemiddelde voor Thalys, ICE, IC Brussel en IC Berlijn. Eurostar, nachttreinen en regionaal grensoverschrijdend vervoer zijn niet meegenomen in dit kental. De gemiddelde bezettingsgraden hebben we samengevat in Tabel 18.

Tabel 18 - Bezettingsgraden van treinen

Categorie	Gemiddelde bezetting (% van zitplaatsen)
Intercity	32%
Internationale trein	47%
Stoptrein (diesel)	26%
Stoptrein (elektrisch)	24%

## 4.10 Tram en metro

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Binnen de categorie tram hebben wij geen verdere categorisering aangebracht. Wel hebben wij de emissiekentallen zowel berekend voor de Nederlandse gemiddelde stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') als emissiekentallen voor 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).

Ook binnen de categorie metro hebben we geen verdere categorisering aangebracht. Wel hebben we de emissiekentallen zowel berekend voor de Nederlandse gemiddelde stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL-mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') als emissiekentallen voor 100% groene stroom (gemiddelde NL-mix, exclusief biomassa).

### Emissiefactoren per zitplaatskilometer

Hoewel het basisjaar van deze studie in 2022 ligt, is het gemiddelde energieverbruik van trams en metro's berekend voor het jaar 2023. Hiervoor is gekozen omdat in dit jaar de vermindering in reizigerkilometers door nasleep van de coronapandemie minder optreden.

Voor tram en metro is het energiegebruik per reizigerskilometer berekend als het totale energiegebruik gedeeld door het totaal aantal reizigerskilometers. Het totaal aantal reizigerskilometers is de som van de gerapporteerde reizigerskilometers door RET, GVB, U-OV en HTM (GVB Holding NV, 2024; HTM, lopend; Provincie Utrecht, 2024; RET, 2024).

GVB rapporteert ook het energiegebruik per reizigerskilometer. Aangenomen dat het energiegebruik per voertuig voor andere maatschappijen gelijk is, is het energieverbruik per reizigerskilometer af te leiden uit het verschil in bezettingsgraad (ACM, 2021). Gecombineerd met het aantal reizigerskilometers is zo het totaal energiegebruik voor trams in Nederland te berekenen. Het gemiddelde energiegebruik per reizigerskilometer is dan het totale energiegebruik gedeeld door het totaal aantal reizigerskilometers.



Het gemiddeld energiegebruik per zitplaatskilometer volgt hieruit door te delen door de gemiddelde bezettingsgraad.

Voor metro's is dezelfde berekening gemaakt. Hiervoor zijn alleen de gegevens van RET en GVB gebruikt, omdat alleen in Rotterdam en Amsterdam metro's rijden.

Het Nederlands gemiddelde energiegebruik van trams en metro's is weergegeven in Tabel 19.

Tabel 19 - Vervoersprestatie trams en metro's in 2023

Categorie	Energieverbruik per zitplaatskilometer (MJ/zpkm)	Energieverbruik per reizigerskilometer (MJ/rkm)
Tram	0,18	0,51
Metro	0,60	0,69

De well-to-tank-emissies door energieopwekking van trams en metro's hebben wij berekend met behulp van het energieverbruik per kilometer en de emissiefactoren uit Tabel 23. Elektrische trams en metro's hebben geen tank-to-wheel-emissies.

De emissies van slijtage van trams en metro's per MJ hebben wij ingeschat als 80% ten opzichte van de emissies van elektrische treinen. Dit is consistent met de aannames uit de vorige editie van STREAM Personenvervoer (CE Delft, 2014). Omdat het energieverbruik van trams en metro's hoger is in vergelijking met treinen, resulteert dit wel in hogere emissies per reizigerskilometer.

## Bezettingsgraden

De gemiddelde bezettingsgraden van trams en metro's is weergegeven in Tabel 20.

Het moet worden opgemerkt dat met name bij metro's de gemiddelde bezetting erg hoog lijkt, omdat het aantal zitplaatsen van met name de metro in Amsterdam erg laag is ten opzichte van het aantal staanplaatsen: voor lijn M5 van de GVB zijn er bijvoorbeeld 174 zitplaatsen en 786 staanplaatsen (18% van het aantal plaatsen is zitplaats). In Rotterdam is het aantal zitplaatsen per metrostel bijvoorbeeld een stuk hoger: metro SG3 van de RET heeft 104 zitplaatsen en 166 staanplaatsen (38% van het aantal plaatsen is zitplaats). Omdat de metro's in verschillende steden zo verschillend zijn is het (nog meer dan bij andere voertuigen) altijd aan te raden om specifieke kentallen voor de metro waar men over rekest te hanteren. De gemiddelde kentallen die hier gepresenteerd worden kunnen worden ingezet als er geen specifieke informatie beschikbaar is, of als berekeningen worden gemaakt voor een nog niet bestaande metrolijn waar nog geen technische specificaties voor zijn uitgedacht. Voor trams geldt ook in mindere mate dat het aantal zit- en staanplaatsen varieert per type tram (het aandeel zitplaatsen ligt over het algemeen in de range van 30-40%).

Tabel 20 - Gemiddelde bezetting trams en metro's in 2023

Categorie	Gemiddelde bezetting van de zitplaatsen
Tram	35%
Metro	87%

## 4.11 Luchtvaart

### Voertuigtechnieken en energiedragers

In de luchtvaart zit er weinig verschil tussen de ingezette technieken en energiedragers. Alle vliegtuigen vliegen op kerosine waarvoor geen realistische alternatieven zijn op dit moment. Biokerosine is weinig beschikbaar en significant duurder waardoor het slechts in zeer beperkte mate wordt bijgemengd. Ook vliegtuigen zelf zijn vergelijkbaar in de emissieprestatie.

Voor vliegtuigen zijn er door ICAO (International Civil Aviation Organization) internationale emissie-eisen (CAEP-standaarden) opgesteld waaraan nieuwe vliegtuigmotoren moeten voldoen. Voor  $\text{NO}_x$  zijn de emissie-eisen gedefinieerd voor de LTO-cyclus. De  $\text{NO}_x$ -eisen zijn aangescherpt sinds de eerste standaard in 1986 (CAEP1) tot de emissiestandaard CAEP8 in 2011. Vanaf 2020 zijn nieuwe emissie-eisen van kracht met de introductie van  $\text{PM}_v$ - en  $\text{CO}_2$ -emissie-eisen (EASA, 2019; Peeters & Melkert, 2018). De huidige vliegtuigen voldoen voor het grootste gedeelte aan de CAEP8-standaard waardoor wij geen onderscheid maken naar de emissiestandaard.

Voor vliegtuigen zijn er op dit moment verder nog weinig alternatieven ontwikkeld die al op grotere schaal worden ingezet. Voor het behalen van klimaatdoelen is biokerosine op dit moment de meest waarschijnlijke optie op kortere termijn. De brandstof is vergelijkbaar met HVO (Peeters & Melkert, 2018) en de brandstofafhankelijke emissies zijn op HVO gebaseerd (zie Tabel 23). Voor brandstofverbruik en de  $\text{PM}_v$ - en  $\text{NO}_x$ -emissies is aangenomen dat deze vergelijkbaar zijn met kerosine.

De omvang van vliegtuigen is wel van belang: een groter vliegtuig heeft namelijk hogere emissies. Grotere vliegtuigen worden vooral ingezet op langere afstanden. Daarnaast is de vluchtafstand ook van direct belang op de emissies. Tijdens het landen en opstijgen en bij het stijgen en dalen vinden namelijk meer emissies plaats dan tijdens de zogeheten kruisfase. Op langer afstanden, waarbij langer op kruisfase wordt gevlogen, vinden daardoor relatief minder emissies plaats. Dit geldt echter niet voor de klimaatimpact van niet- $\text{CO}_2$ -emissies. De schade door deze emissies vindt juist op hoogte plaats. Een verdere uitleg van niet- $\text{CO}_2$ -emissies is gegeven in hoofdstuk 3.2

Zoals hierboven aangegeven is er een correlatie tussen de gevlogen afstand en de gemiddelde emissies. Om deze reden onderscheiden we drie afstandsklassen: korte vluchten (<1.500 km), middellange vluchten (tussen 1.500 en 6.000 km) en lange vluchten (>6.000 km). De meeste Europese vluchten vallen onder de korte afstand. De afstandsgrenzen zijn zo gekozen dat de gemiddelde emissiefactor zo representatief mogelijk is voor de categorie (zie ook Figuur 9).

## Emissiefactoren per zitplaatskilometer

Van de 2018 vluchten is ook het IATA-toesteltype, de beladingsgraad (zowel reizigers als vracht<sup>14</sup>) en de afstand tussen twee luchthavens geleverd. Hiermee zijn het brandstofverbruik, de CO<sub>2</sub>-emissies en vervolgens de luchtvervuilende emissies berekend worden.

De emissies per reizigerskilometer ( $EF_{rkm}$ ) zijn bepaald op basis van het energieverbruik per reizigerskilometer ( $E_{rkm}$ ) en emissiefactoren per MJ brandstof ( $EF_{MJ}$ ) volgens Formule 1.

$$EF_{rkm} = E_{rkm} \times EF_{MJ} \quad (1)$$

Het energieverbruik per reizigerskilometer ( $E_{rkm}$ ) is daarbij bepaald door per vliegtuig-categorie het totale energieverbruik per jaar ( $E_{jaar}$ ) te delen door de totale reizigerskilometers over een jaar  $rkm_{jaar}$ , volgens Formule 2. Het energieverbruik per jaar is daarbij afgeleid van de CO<sub>2</sub>-uitstoot.

$$E_{rkm} = \frac{E_{jaar}}{tkm_{jaar}} \quad (2)$$

In STREAM zijn de klimaateffecten van niet-CO<sub>2</sub>-emissies<sup>15</sup> niet meegenomen in de cijfers. In Paragraaf 3.2. is hierover meer uitleg gegeven.

## Energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies

Het energieverbruik per rkm is afgeleid uit de CO<sub>2</sub>-emissies per rkm met een factor van 71,5 g CO<sub>2</sub>/MJ (zie Tabel 23). Op basis van de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-emissies per categorie vliegtuigen ( $CO_{2-v}$ ) en de reizigerskilometer ( $rkm$ ) van de vliegtuigen ( $v$ ) uit een bepaalde categorie ( $cat$ ) is het gemiddelde energieverbruik per categorie ( $E_{rkm(cat)}$ ) als volgt bepaald:

$$E_{rkm(cat)} = \frac{\sum_{v-cat}(CO_{2-v} \times \frac{1}{EF_{CO2}})}{\sum_{v-cat}(rkm_v)} \quad (4)$$

Om het totaal aan energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissies van de zes verschillende categorieën te kunnen berekenen is gebruikgemaakt van de Small Emitters Tool (SET) en is in het geval van belly-freight een verdeelsleutel toegepast om de emissies te kunnen verdelen in passagiers- en vrachtemissies. De tonkilometers per vliegtuigcategorie zijn direct uit de Schiphol database ter herleiden waarin per vlucht de afstand- (vogelvluchtafstand) en tonnagegegevens zijn opgenomen.

<sup>14</sup> Alleen de in Schiphol geladen en geloste vracht is bekend. Vrucht die al aanwezig was in het vliegtuig is onbekend.

<sup>15</sup> CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O worden wel meegenomen.

## *CO<sub>2</sub>-emissies en energieverbruik via Small Emitters Tool*

We gebruiken de Small Emitters Tool (SET) van EUROCONTROL om de CO<sub>2</sub>-emissies te berekenen. De SET is gebouwd op het daadwerkelijke brandstofverbruik van verschillende typen toestellen onder verschillende omstandigheden (Eurocontrol, lopend). De recente (2023) versie van de SET is gebruikt in de berekeningen. We corrigeren voor het feit dat vliegtuigen vrijwel nooit de kortste route tussen twee steden mogen vliegen. Dit kan standaard in de SET door rekening te houden met een omvliegafstand van 95 km. Met de SET zijn vluchtdata naar toesteltype en afstand omgezet naar brandstofverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies per toesteltype en afstandscombinatie.

### *Toewijzing naar reizigers en vracht*

De output uit de SET is vervolgens omgerekend naar gemiddelde energieverbruik en CO<sub>2</sub> per passagierskilometer via Formule 4. Voor full-passenger-toestellen is dat eenvoudig te doen omdat 100% van het brandstofverbruik toegewezen kan worden aan de vervoerde reizigers. Bij gecombineerde toestellen worden echter zowel reizigers als vracht vervoerd en dienen energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies te worden verdeeld onder reizigers en vracht. In Nederland vervoerde zo'n 60% van de vluchten passagiers en vracht in 2018.

Er zijn verschillende manieren waarop men deze onderverdeling kan maken. Men kan er ten eerste voor kiezen om emissie toe te delen aan de hand van economische allocatie. Theoretisch is dit interessant, maar in de praktijk vereist het informatie die niet publiekelijk beschikbaar is, onder andere over de kosten van het vervoeren van reizigers en vracht en de prijzen die betaald zijn. Een tweede optie is om de emissies te verdelen op basis van ruimtegebruik. Het gaat dan om de hoeveelheid ruimte van het vliegtuig gereserveerd voor vracht en passagiers. In de praktijk is dit echter lastig omdat dit per maatschappij en vliegtuig kan verschillen waardoor er niet publieke informatie nodig is. De derde, meest gangbare optie, is een toedeling op basis van gewicht van vracht en passagiers.

Omdat het gewicht van passagiers vaak niet bekend is wordt uitgegaan van standaard gewichten. Hiervoor zijn twee varianten die gangbaar zijn. Zowel de Europese Standaard EN16258 (CEN, 2012; ISO, 2023) als ISO 14083 nemen aan dat gemiddelde reizigers (incl. bagage) 100 kg wegen om vervolgens het energieverbruik of de CO<sub>2</sub>-emissies te verdelen op basis van de gesommeerde gewichten van vracht en passagiers. Een tweede variant gaat ervan uit dat een gemiddelde passagier (incl. bagage) 100 kg weegt, en dat men daarnaast ook nog rekening houdt met 50 kilo per stoel aan boord. Het maakt daarbij niet uit of deze stoel bezet is door een passagier of niet. Deze 50 kg per stoel dekt het gewicht van de faciliteiten die benodigd zijn om de passagiers te verzorgen, zoals stoelen, wc's, keukens en het personeel aan boord. Deze methodiek wordt gebruikt in de ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology (ICAO, 2017) en door de (ICCT, 2019).

Beide varianten worden naast elkaar gebruikt, wat mede komt doordat ze eigen voor- en nadelen hebben. De belangrijkste verschillen zijn:

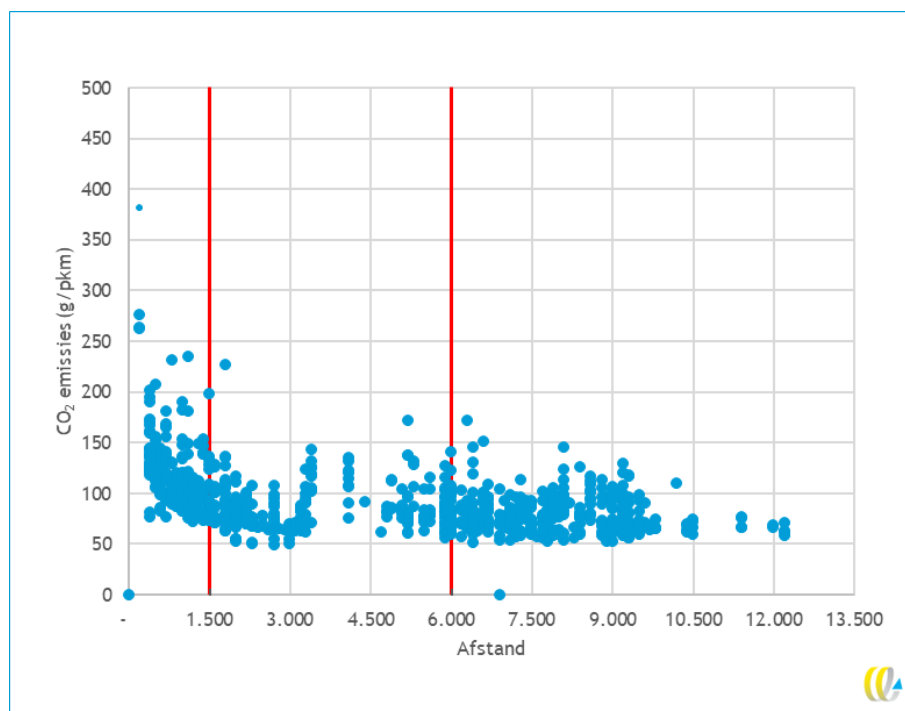
- De variant waar naast 100 kg uit wordt gegaan van 50 kg per stoel vraagt om kennis over het aantal stoelen per vliegtuig. De indeling verschilt per vliegtuig en ook per maatschappij waardoor het lastig is om een accurate berekening te maken. Dit probleem treedt niet op als wordt uitgegaan van 100 kg per passagier.
- Het gebruik van de Europese Standaard EN16258 is in bepaalde Europese wetgeving opgenomen. Hierdoor blijft er vraag naar emissiefactoren die via deze methode zijn bepaald.

- Er is een discussie gaande of de huidige varianten op basis van gewicht wel tot representatieve uitkomsten leiden. Davydenko et al. (2020) en (Peeters & Reinecke, 2021) berekenen dat het allocatie op basis van 100 kg per passagier plus 50 kg per stoel te prefereren is boven allocatie op basis van 100 kg per passagier.

Recentelijk lijkt er meer consensus te zijn gekomen in de luchtvaartindustrie over de toedeling op basis van massa. IATA ging lange tijd uit van 100 + 50 kg (IATA, 2014) maar is recentelijk overgestapt naar 100 kg (IATA, 2022) . Ook de aankomende ISO-standaard zal uitgaan van 100 kg per passagier voor de verdeling tussen personen en vracht. Wij verwachten dat er op de korte termijn vraag is naar kentallen die van beide methodes uitgaan. Daarom passen we beide methodes toe.

De resultaten per afstandsklasse (met een aggregatie van vluchten per 100 km) op basis van de 100 + 50 kg-methode zijn weergegeven in Figuur 9. Daarbij is aangegeven waar de grenzen liggen voor de korte, middellange en lange afstand waarvoor de gemiddelde emissiekentallen zijn gerapporteerd.

Figuur 9 - CO<sub>2</sub> per pkm naar afstand voor passagiersvluchten (allocatie met 100 kg + 50 kg per stoel)



### Luchtvervuilende emissies

De CO<sub>2</sub>-emissies zijn berekend zoals aangegeven in de vorige paragraaf. De luchtvervuilende emissies van de luchtvaart zijn niet direct gelinkt aan het brandstofverbruik van het toestel, maar zijn afhankelijk van het motortype en de stuwkracht (in het Engels ‘*thrust*’). Bij hogere thrust-settings, zoals gebruikelijk bij het opstijgen, komen veel meer luchtvervuilende emissies vrij dan bij lagere thrust-settings, zoals cruise of tijdens het dalen. Daarnaast zijn er grote verschillen tussen vliegtuigmotortypen te vinden. Aangezien vliegtuigbouwers hun klanten graag de keuze geven qua motor is het niet het geval dat alle toestellen van hetzelfde toesteltype ook dezelfde motor hebben.

Om de luchtvervuilende emissies van de zes verschillende categorieën te kunnen berekenen is gebruikgemaakt van de Aviation Emissions Calculator van de European Environment Agency (EEA, 2023). Verder is ook hier gebruikgemaakt van de twee verdeelsleutels tussen vracht- en reizigersemissies, zoals eerder toegelicht.

### *Aviation Emissions Calculator*

De Aviation Emissions Calculator van de EEA geeft per toestel en per gevlogen afstand onder andere de uitstoot NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, HC, nvPM<sup>16</sup>, vPM<sup>17</sup> en totale PM. Omdat het motortype erg kan verschillen, zelfs binnen hetzelfde toesteltype, heeft de EEA de uitstoot gemodelleerd met het meest voorkomende motortype in 2022 per toesteltype. Zo modelleren ze bijvoorbeeld de uitstoot van een Airbus A320Neo met twee motoren van het type 1P20CM128, omdat dat de meest voorkomende configuratie in 2022 was.

De data die we gebruiken om de uitstoot te kunnen berekenen zijn daadwerkelijk gevlogen vluchten van en naar Schiphol in 2018. Het toesteltype waarmee gevlogen is, is bekend, maar de precieze motorconfiguratie niet. We hebben er daarom voor gekozen de Aviation Emissions Calculator met de meest voorkomende configuratie per toesteltype te gebruiken.

De Aviation Emissions Calculator berekent de uitstoot van luchtvervuilende emissies onderverdeeld naar LTO-emissies en CCD-emissies. LTO-emissies zijn de emissies die worden uitgestoten tijdens het landen en opstijgen (Landing and Take-Off). CCD-emissies zijn de emissies die worden uitgestoten tijdens de klimfase, cruise fase en daalfase van een vlucht (Climb, Cruise and Descent). De LTO-emissies worden uitgestoten tot 3.000 voet, terwijl de CCD-emissies daarboven worden uitgestoten. Met name het onderscheid van LTO-emissies is van belang, omdat de schadelijkheid van luchtvervuilende stoffen in de LTO-fase groter is. Deze emissies hebben een directere en grotere impact op de leefomgeving dan de CCD emissies .

Enkele uitgangspunten die we in het EEA-model hebben toegepast zijn:

- In deze studie hebben we de LTO-cyclus genomen voor een typische, drukke Europese luchthaven, omdat men Schiphol daar onder kan scharen.
- Voor vliegtuigen die grotere afstanden vliegen dan volgens het model mogelijk is, passen we de marginale uitstoot van luchtvervuilende stoffen per CCD kilometer toe voor de additionele kilometers.
- Om de uitstoot van luchtvervuilende stoffen per reizigerskilometer te kunnen berekenen moeten we weten hoeveel reizigerskilometer onder de 3.000 voet plaatsvinden. Op basis van een gemiddelde stijgingshoek van 15° (Boeing, 2009) en een gemiddelde dalingshoek van 3,2° (Henderson et al., 2016) is de (horizontaal) gevlogen afstand per LTO circa 25 kilometer.

### *Onderscheid naar reisklassen*

Reizigers hebben vaak de keuze om verschillende reisklassen te kopen voor het vliegtuig. De precieze naamgeving en indeling verschilt per vliegtuig en maatschappij. Over het algemeen zijn er op korte vluchten twee niveaus beschikbaar en op langere vluchten vier. We sluiten aan bij de naamgeving van ISO:

- Economy;
- Premium economy;
- Business;
- First class.

---

<sup>16</sup> Non-volatile PM.

<sup>17</sup> Volatile PM.

Over het algemeen is het ruimtegebruik van de duurdere plaatsen groter en de bezettingsgraad lager. Het is dus voor de hand liggend om een hogere uitstoot toe te wijzen aan de duurdere reisklassen. De toewijzing baseren wij op de emissiefactoren in (Peeters & Reinecke, 2021). Hierin worden correctiefactoren toegepast die zijn opgesteld op basis van de ruimte per stoel, per klasse, per vliegtuig en luchtvaartmaatschappij. Wij passen de uitkomsten toe op de gemiddelde emissiefactoren (per rkm) die wij berekenen. De correctiefactoren houden rekening met verschillen in bezettingsgraad en ruimtegebruik per reisklasse. De correctiefactoren staan in Tabel 21. Hierin is te zien dat een economy class-passagier 10% minder uitstoot veroorzaakt dan het gemiddelde. Eén first class-passagier veroorzaakt echter 431% meer uitstoot dan een gemiddelde passagier doordat de bezettingsgraad lager is en, met name, het ruimtegebruik groter.

Tabel 21 - Correctiefactoren ten opzichte van gemiddelde emissies luchtvaart (g/rkm) per reisklasse

Reisklasse	Correctiefactor ten opzichte van gemiddelde
Gemiddeld	100%
Economy class	90%
Economy premium	98%
Business class	180%
First class	431%

## Bezettingsgraden

De door Schiphol aangeleverde data bevat informatie over het daadwerkelijke aantal passagiers per vlucht. De uitkomsten zijn zichtbaar in Tabel 22. Over het aantal stoelen is geen informatie beschikbaar waardoor we geen uitspraken over de bezettingsgraad in percentage kunnen geven.

Tabel 22 - Bezetting van vliegtuigen per afstandsklasse

	Gemiddeld aantal passagiers per vlucht
Korte afstand (<1.500 meter)	116
Middellange afstand (1.500-6.000 meter)	183
Lange afstand (>6.000 meter)	375

## 4.12 Vervoer over water

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Op dit moment hebben we in deze studie alleen de twee veerboten van de Westerschelde Ferry (WSF) in kaart gebracht. Deze veerboten varen beide op fossiele diesel.

### Vervoersprestatie

De vervoersprestaties hebben wij gebaseerd op het jaarrapport van de Westerschelde Ferry B.V. van 2020. Het jaar 2019 werd gehanteerd voor deze data, omdat de effecten van de coronacrisis op veerdiensten niet representatief zijn voor de komende jaren. Het gaat hier om het aantal afvaarten per jaar en het aantal vervoerde personen per jaar. Voor de afgelegde afstand per afvaart hebben wij (Afstandmeten.nl, lopend) gebruikt.

## **Emissiefactor per zitplaatskilometer**

Het brandstofverbruik van de WSF hebben wij gebaseerd op het jaarrapport van de Westerschelde Ferry B.V. van 2020. Hieruit hebben wij het energieverbruik kunnen berekenen met behulp van de stookwaarden uit Tabel 23. De energieverbruiksafhankelijke emissies van veerboten hebben wij berekend met behulp van de emissiefactoren uit Tabel 23. De motorafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van de Emissieregistratie (Emissieregistratie, lopend) en het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022).

## **Bezettingsgraden**

Uit de vervoersprestatie data van Westerschelde Ferry in combinatie met de capaciteit volgens hun eigen website (Westerschelde Ferry, 2022) van 186 personen hebben we een gemiddelde bezettingsgraad van 24% berekend.



# Literatuurlijst

- ACM. (2021). *Prestatievergelijking stedelijke openbaarvervoersbedrijven*. Afstandmeten.nl. (lopend). Afstandmeten.NL. In: Afstandmeten.nl.
- Alberts, P. (2021). *Ship details, private communication* [Interview].
- Boeing. (2009). *Aero magazine*.
- CBS. (2022a). *Auto- en buskilometers naar emissieklasse, 2020*.
- CBS. (2022b). *Cbs statline: Auto- en buskilometers naar emissieklasse*. CBS. <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2022/47/auto-en-buskilometers-naar-emissieklasse-2020>
- CBS. (2022c, 27-10-2022). *Emissies naar lucht op nederlands grondgebied; wegverkeer*. CBS. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7063/table?dl=A0B9>
- CBS. (2024). *Statline: Elektriciteit en warmte; productie en inzet naar energiedrager*. CBS. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80030ned/table?dl=9E467>
- CBS. (lopend). *Statline: Mobiliteitstrend; per rit, vervoerwijzen, reismotief, leeftijd en geslacht*. CBS.
- CE Delft. (2014). *Stream personenvervoer 2014 versie 1.1. : Studie naar transportemissies van alle modaliteiten: Emissiekentallen 2011*.
- CE Delft. (2018). *Gereden kilometers van volledig elektrische plug-in hybride en hybride personenauto's*.
- CE Delft. (2019). *Handbook on the external costs of transport*.
- CE Delft. (2020). *Review of dutch rail diesel emissions calculation methodology*.
- CE Delft. (2021a). *Stream goederenvervoer 2020 (versie 2)*.
- CE Delft. (2021b). *Stream goederenvervoer 2020: Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer*.
- CE Delft. (2023a). *Ketenemissies elektriciteit: Actualisatie elektriciteitsmix 2021*.
- CE Delft. (2023b). *Stream personenvervoer. Emissiekentallen 2030*.
- CE Delft. (2023c). *Stream personenvervoer. Emissiekentallen modaliteiten 2022*.
- CEN. (2012). *Methodology for calculation and declaration of energy consumption and ghg emissions of transport services (freight and passengers) 16258:2012 en*.
- CROW-KpVV. (2020). *Staat van het regionale openbaar vervoer 2019*.
- Davydenko, I.Y., Hopman, W.M.M., & Smokers, R.T.M. (2020). *Carbon footprinting of combined passenger freight operations in aviation networks*.
- de Haas, M.H., B. (2022). *Aanschaf en gebruik van de elektrische fiets: Achtergrondrapportage*.
- EASA. (2019). *Milieurapport over de europase luchtvaart*.
- EASA, D.S. Lee, Manchester Metropolitan University, & CE Delft. (2020). *Updated analysis of the non-co2 climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to the eu emissions trading system directive article 30(4), final report*.
- EEA. (2023). *1.A.3.A aviation -annex 1 - master emissions calculator - 2023*. EEA. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-a-aviation.3/view>
- Emissieregistratie. (lopend). *Emissieregistratie: Dataexport*. Emissieregistratie. <https://www.emissieregistratie.nl/data/data-export>
- EU. (2015). *Richtlijn (eu) 2015/652 van de raad van 20 april 2015 tot vaststelling van berekeningsmethoden en rapportageverplichtingen overeenkomstig richtlijn 98/70/eg van het europees parlement en de raad betreffende de kwaliteit van benzine en van dieselbrandstof. Publicatieblad van de Europese Unie, L107(25.4.2015), 26-67*.
- Eurocontrol. (2023). *Small emitters tool (set) - 2023*.



- Eurocontrol. (lopend). *Small emitters tool*. EUROCONTROL (European Organisation for the Safety of Air Navigation). Retrieved juni from <https://www.eurocontrol.int/tool/small-emitters-tool>
- Fietsersbond. (2017, november 29). *Lengte fietspaden voor 30 gemeenten*. Fietsersbond.
- Fraunhofer ISI, CE Delft, & Ramboll. (2020). *Methodology for ghg efficiency of transport modes*.
- Geilenkirchen, G., Bolech, M., Hulskotte, J., Dellaert, S., Ligterink, N., van Eijk, E., Geertjes, K., Kosterman, M., & 't Hoen, M. (2024). *Methods for calculating the emissions of transport in the netherlands*.
- Geilenkirchen, G., Hulskotte, J., Dellaert, S., Ligterink, N., & Sijstermans, M. (2022). *Methods for calculating the emissions of transport in the netherlands*.
- Groothellevoet. (2022). Aantal motorfietsen in nederland nadert 800.000. In: Groothellevoet.
- GVB Holding NV. (2024). *Jaarverslag 2023*.
- HBEFA. (lopend). *Handbook emission factors for road transport (hbefa)*. HBEFA. <http://www.hbefa.net/e/index.html>
- Henderson, J., Boorman, E., Gregson, S., & Cliff, K. (2016). *3.2 degrees slightly steeper approach trial report*.
- HTM. (lopend). *Ov dashboard*. HTM. <https://www.htm.nl/over-htm/ov-dashboard/?view=dashboard&year=2023&mode=2&day=0&month=1&line=3>
- IATA. (2014, March 9). *Recommended practice 1678 - co2 measurement methodology*. IATA. <https://www.iata.org/en/programs/cargo/sustainability/carbon-footprint/>
- IATA. (2022). *Recommended practice -rp 1726 passenger co2 calculation methodology*.
- ICAO. (2017). *Carbon emissions calculator methodology*.
- ICCT. (2019). *Co2 emissions from commercial aviation 2018*.
- IKA. (2007, July 3). *Roads2hy deliverable 2.1 and 2.1a: European hydrogen infrastructure atlas" and "industrial excess hydrogen analysis" part iii: Industrial distribution infrastructure*. Institut für Kraftfahrzeuge (IKA).
- ISO. (2022). *Iso/dis 14083 - quantification and reporting of greenhouse gas emissions arising from transport chain operations - draft standard*.
- ISO. (2023). *Greenhouse gases: Quantification and reporting of greenhouse gas emissions arising from transport chain operations (en iso 14083:2023)*.
- JRC. (2020). *Jec well-to-tank report v5 : Jec well-to-wheels analysis : Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context*.
- NEa. (2020, juni 11). *Rapportage energie voor vervoer in nederland 2019 : Naleving verplichtingen wet- en regelgeving energie voor vervoer*. Nederlandse Emissieautoriteit. <https://www.emissieautoriteit.nl/documenten/publicatie/2020/06/29/rapportage-energie-voor-vervoer-in-nederland-2019>
- NEa. (2021). *Rapportage energie voor vervoer in nederland 2020: Naleving verplichtingen wet- en regelgeving energie voor vervoer*. Nederlandse Emissieautoriteit. <https://www.emissieautoriteit.nl/binaries/nederlandse-emissieautoriteit/documenten/publicatie/2021/07/02/totaalrapportage-energie-voor-vervoer-2020/Rapportage+Energie+voor+vervoer+2020.pdf>
- NEa. (2024). *Rapportage energie voor vervoer in nederland 2023*.
- Panteia. (2022). *Tco-zet-vracht*.
- Peeters, P., & Melkert, J. (2018). *Parlement en wetenschap: Factsheet toekomst verduurzaming luchtvaart*.
- Peeters, P., & Reinecke, T. (2021). *Berekening co2-emissiefactoren voor nederlandse luchtvaartpassagiers*.
- Provincie Utrecht. (2024). *Jaar- en trendrapportage 2023*.
- RET. (2024). *Jaarverslag 2023*.



- Speedpedelec.org. (2022). *Speedpedelec: Accu*. Speedpedelec.org.  
<https://speedpedelec.org/fietsaccessoires/speed-pedelec-accu/>
- SWOV. (2022). *Elektrische fietsen en speed-pedelegs. Swov-factsheet*.
- TNO. (2015). *Energie- en milieu-aspecten van elektrische personenvoertuigen*.
- Van Zyl, P.S., Van Mensch, P., Ligterink, N.E., Dröge, R., & Kadijk, G. (2014). *Update emission model for two-wheeled mopeds*.
- Verbeek, M., Smokers, R., & Verbeek, R. (2017). *Onderscheidende kenmerken van brandstoftypen als alternatief voor diesel*.
- Westerschelde Ferry. (2022). *Onze boten*. Westerschelde ferry.  
<https://westerscheldeferry.nl/portfolio/onze-boten/>



# A Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen

Tabel 23 geeft een overzicht van de emissiefactoren voor verschillende brandstoffen en elektriciteit. Dit zijn grotendeels de emissies die volledig brandstofafhankelijk zijn. Dit wil zeggen dat de emissies niet afhankelijk zijn van de specifieke motor waarin de brandstof wordt verbrand. Dit betreft alle well-to-tank-emissies. Ook de well-to-wheel-CO<sub>2</sub>- en SO<sub>2</sub>-emissies zijn, bij volledige verbranding van de brandstof, onafhankelijk van het motortype. Naast de emissiekentallen hebben wij ook de dichtheid en stookwaarde van de brandstoffen in de tabel opgenomen.

De enige emissies in Tabel 23 die afhangen van het specifieke voertuig waar de brandstof in wordt verbrand zijn de tank-to-wheel overige broeikasgassen (deze komen terug in de CO<sub>2</sub>-eq.-emissies). Omdat de emissies van deze stoffen afhangen van het type voertuig, betreffen de getallen in de tabel dus *representatieve* getallen (die gelden voor gemiddelde personenauto's die reiden op deze brandstoffen).

Tabel 24 en Tabel 25 bevatten kentallen per kilogram en per liter brandstof.

Tabel 23 - Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen

Type brandstof	Dichtheid (kg/liter)	Stookwaarde (MJ/kg)	Well-to-wheel (g/MJ)		Tank-to-wheel (g/MJ)			Well-to-tank (g/MJ)					
			CO <sub>2</sub> -eq. ex. infra	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq.	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq. ex. infra	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	VOS
Benzine fossiel	0,75	43,3	94,2	95,9	72,2	73,1	0,0005	21,1	22,7	0,04	0,00	0,04	0,10
Bio-ethanol (benzinevervangers)	0,75	27,9	20,9	25,2	0,0	0,9	0,0001	20,0	24,3	0,11	0,03	0,13	0,07
Benzine E10	0,75	41,8	89,3	91,2	67,4	68,3	0,0001	21,0	22,9	0,05	0,01	0,05	0,10
Benzine E85	0,75	30,2	36,7	40,5	15,6	16,5	0,0001	20,2	24,0	0,09	0,02	0,11	0,07
LPG	0,54	45,2	74,0	75,6	66,7	67,1	0,0002	6,9	8,5	0,06	0,01	0,04	0,10
CNG	0,17	38,0	74,5	75,0	56,2	59,1	0,0002	15,4	15,9	0,01	0,00	0,09	0,01
Bio-CNG	0,17	38,0	20,9	21,4	0,0	2,9	0,0002	18,0	18,5	0,00	0,00	0,05	0,02
Bio-LNG	n.v.t.	50,0	11,9	12,4	0,0	2,9	0,0002	9,0	9,5	0,00	0,00	0,05	0,02
Diesel fossiel	0,84	43,2	95,9	97,6	72,5	73,3	0,0004	22,6	24,3	0,04	0,00	0,03	0,09
Diesel FAME	0,88	37,5	13,4	14,2	0,0	0,8	0,0004	12,6	13,4	0,02	0,04	0,08	0,02
Diesel B7	0,84	42,8	90,6	92,2	67,8	68,6	0,0004	22,0	23,6	0,04	0,01	0,03	0,08
Diesel B30	0,84	42,0	72,1	73,4	51,7	52,5	0,0004	19,6	20,9	0,03	0,01	0,03	0,07
Diesel HVO100	0,79	44,0	12,8	13,1	0,0	0,8	0,0002	12,0	12,3	0,01	0,01	0,03	0,01
Diesel GTL	0,78	44,0	95,1	97,2	70,9	71,7	0,0002	23,4	25,6	0,03	0,01	0,15	0,05
Elektriciteit - NL gemiddelde mix	-	-	74,5	78,7	-	-	-	74,5	78,7	0,06	0,00	0,03	0,13
Elektriciteit - 100% groen excl. Bio	-	-	-	9,5	-	-	-	-	9,5	-	-	-	-
Elektriciteit - 100% grijs	-	-	138,0	138,4	-	-	-	138,0	138,4	0,06	0,00	0,03	0,17

H2 Fuel cell - elektrolyse NL gemiddelde mix	-	120,0	138,6	145,9	-	-	-	138,6	145,9	0,10	0,00	0,04	0,22
H2 Fuel cell - elektrolyse 100% groen excl. bio	-	120,0	9,0	25,5	-	-	-	9,0	25,5	-	-	-	-
H2 Fuel cell - steam reforming	-	120,0	104,3	105,6	-	-	-	104,3	105,6	0,05	0,00	0,15	0,03
Kerosene (luchtvaart)	0,80	43,5	92,7	94,3	72,2	72,7	0,0227	20,0	21,6	0,04	0,00	0,03	0,08
Bio-kerosine	0,77	44,0	8,5	8,8	0,0	0,5	0,0011	8,0	8,3	0,01	0,01	0,03	0,01

<sup>1</sup> In deze kentallen zijn emissies door 'indirect land use change' (ILUC) niet meegenomen. De kentallen zijn dus representatief voor benzinevervangers die op een duurzame manier zijn opgewekt. Indien dit niet het geval is, en er sprake is van ILUC, zouden de well-to-tank-CO<sub>2</sub>-eq.-emissies hoger zijn: bij pure ethanol betreft dit een verhoging met 8,9 gCO<sub>2</sub>-eq./MJ. Bij E10 betreft dit 0,6 gCO<sub>2</sub>-eq./MJ en bij E85 7,0 gCO<sub>2</sub>-eq./MJ.

Tabel 24 - Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen (gCO<sub>2</sub>/kg)

Type brandstof	Well-to-wheel (g/kg)		Tank-to-wheel (g/kg)			Well-to-tank (g/kg)					
	CO <sub>2</sub> -eq. ex. infra	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq.	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq. ex. infra	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	VOS
Benzine fossiel	4.079	4.151	3.126	3.166	0,020	914	985	1,8	0,2	1,8	4,5
Bio-ethanol (benzinevervangers)	583	704	-	25	0,003	558	679	3,0	0,7	3,5	1,8
Benzine E10	3.731	3.807	2.814	2.852	0,005	878	954	1,9	0,3	2,0	4,2
Benzine E85	1.109	1.222	470	497	0,004	611	725	2,8	0,7	3,3	2,2
LPG	3.344	3.417	3.015	3.032	0,009	312	385	2,8	0,3	1,8	4,7
CNG	2.831	2.851	2.136	2.246	0,008	585	606	0,5	0,0	3,5	0,5
Bio-CNG	794	811	-	110	0,008	684	701	0,2	0,0	1,8	0,7
Bio-LNG	595	618	-	145	0,010	450	473	0,2	0,0	2,4	0,9
Diesel fossiel	4.141	4.214	3.132	3.165	0,019	976	1.049	1,7	0,2	1,4	3,8
Diesel FAME	501	531	-	29	0,014	473	503	0,9	1,5	3,1	0,7
Diesel B7	3.874	3.944	2.902	2.935	0,019	939	1.009	1,6	0,3	1,5	3,6
Diesel B30	3.029	3.084	2.173	2.205	0,017	824	879	1,4	0,3	1,4	2,7
Diesel HVO100	562	575	0	34	0,010	528	541	0,5	0,3	1,3	0,3
Diesel GTL	4.183	4.278	3.120	3.153	0,009	1.030	1.124	1,2	0,4	6,5	2,1
H2 Fuel cell - elektrolyse NL gemiddelde mix	16.637	17.503	-	-	-	16.637	17.503	11,4	0,5	5,2	26,5
H2 Fuel cell - elektrolyse 100% groen excl. bio	1.080	3.061	-	-	-	1.080	3.061	-	-	-	-
H2 Fuel cell - steam reforming	12.516	12.674	-	-	-	12.516	12.674	5,5	0,2	18,1	3,7
Kerosene (luchtvaart)	4.034	4.103	3.141	3.164	0,989	870	939	1,6	0,2	1,3	3,4
Bio-kerosine	376	389	0	24	0,050	352	365	0,5	0,3	1,3	0,3

<sup>1</sup> In deze kentallen zijn emissies door 'indirect land use change' (ILUC) niet meegenomen. De kentallen zijn dus representatief voor benzinevervangers die op een duurzame manier zijn opgewekt. Indien dit niet het geval is, en er sprake is van ILUC, zouden de well-to-tank-CO<sub>2</sub>-eq.-emissies hoger zijn: bij pure ethanol betreft dit een verhoging met 385 gCO<sub>2</sub>-eq./kg. Bij E10 betreft dit 26 gCO<sub>2</sub>-eq./kg en bij E85 303 gCO<sub>2</sub>-eq./kg.



Tabel 25 - Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen (gCO<sub>2</sub>/L)

Type brandstof	Well-to-wheel (g/L)		Tank-to-wheel (g/L)			Well-to-tank (g/L)					
	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq.	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	VOS
Benzine fossiel	3.059	3.113	2.345	2.374	0,015	685	739	1,4	0,2	1,4	3,4
Bio-ethanol (benzinevervangers)	436	527	-	19	0,002	417	508	2,3	0,5	2,6	1,4
Benzine E10	2.797	2.854	2.110	2.139	0,004	658	716	1,4	0,2	1,5	3,2
Benzine E85	830	915	352	372	0,003	458	542	2,1	0,5	2,4	1,7
LPG	1.792	1.832	1.616	1.625	0,005	167	207	1,5	0,1	0,9	2,5
CNG	472	475	356	374	0,001	98	101	0,1	0,0	0,6	0,1
Bio-CNG	132	135	-	18	0,001	114	117	0,0	0,0	0,3	0,1
Diesel fossiel	3.462	3.523	2.618	2.646	0,016	816	877	1,4	0,1	1,1	3,2
Diesel FAME	441	468	-	25	0,012	416	442	0,8	1,3	2,7	0,6
Diesel B7	3.251	3.309	2.435	2.462	0,016	788	847	1,4	0,2	1,2	3,0
Diesel B30	2.552	2.599	1.831	1.858	0,015	694	741	1,1	0,2	1,2	2,3
Diesel HVO100	441	451	-	26	0,008	414	425	0,4	0,2	1,0	0,3
Diesel GTL	3.263	3.336	2.433	2.459	0,007	803	877	1,0	0,3	5,1	1,6
Kerosine (luchtvaart)	3.228	3.283	2.513	2.532	0,791	696	751	1,3	0,1	1,0	2,7
Biokerosine	290	300	-	18	0,039	271	281	0,4	0,2	1,0	0,3

<sup>1</sup> In deze kentallen zijn emissies door ‘indirect land use change’ (ILUC) niet meegenomen. De kentallen zijn dus representatief voor benzinevervangers die op een duurzame manier zijn opgewekt. Indien dit niet het geval is, en er sprake is van ILUC, zouden de well-to-tank-CO<sub>2</sub>-eq.emissies hoger zijn: bij pure ethanol betreft dit een verhoging met 288 gCO<sub>2</sub>-eq./L. Bij E10 betreft dit 19 gCO<sub>2</sub>-eq./L en bij E85 227 gCO<sub>2</sub>-eq./L.

## A.1 Update biobrandstoffen

Ten opzichte van de vorige versies van STREAM zijn de emissies van biobrandstoffen geüpdatet. De WTT-emissies hiervan hangen af van de gebruikte productieprocessen en zijn daarom minder stabiel dan de meeste brandstofkentallen. De WTT-waardes zijn gebaseerd op de Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2023 (NEa, 2024). Eerder was dit gebaseerd op dezelfde rapportage uit 2020 (NEa, 2021).

In Tabel 26 zijn de verschillen tussen de huidige brandstofkentallen (uit de Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2023) en de waardes uit de Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2020 weergegeven. De waardes voor 2020 lagen aan de basis van de kentallen van STREAM personenvervoer 2022 (CE Delft, 2023c).

De daling in de emissies van bio-ethanol komt door de toename van het gebruik van geavanceerde grondstoffen in plaats van conventionele grondstoffen zoals maïs en suikerriet. De conversie naar brandstof van geavanceerde brandstoffen heeft in de regel minder energie nodig. Het aandeel geavanceerde brandstoffen was in 2023 39%, tegenover 23% in 2020 (NEa, 2021, 2024).

De emissies van HVO zijn daarentegen gestegen. In 2020 werd HVO voornamelijk (83%) van gebruikt frituurvet gemaakt. In 2023 was afvalwater van palmoliemolens de primaire bron, waarvoor de conversie naar HVO meer energie kost.

Biogas (CNG en LNG) wordt voornamelijk uit afval geproduceerd. Deze productiemethode is in de loop van de jaren efficiënter geworden (NEa, 2021, 2024). Bio-LNG en BioCNG werden voor 2020 onder één noemer gerapporteerd en worden voor 2023 ieder apart gerapporteerd. Bio-LNG is daarmee veel lager dan in 2020. Dat komt onder andere doordat LNG vergroend met GVO's ook onder de noemer bio-LNG valt (NEa, 2024)n.

Verder worden emissiefactoren voor groene waterstof en biokerosine voor 2023 ook door NeA gerapporteerd, waar dit in 2020 nog niet het geval was. Voor waterstof was eerder uitgegaan van de EU richtlijn omtrend brandstoffen en het JRC WTW report (EU, 2015) (JRC, 2020).

Uit NEa blijkt dat biokerosine in 2023 wordt geproduceerd uit 87% frituurvet en verder uit dierlijk vet. In de oude emissiefactoren was, in lijn met (ISO, 2022), verondersteld dat biokerosine volledig uit raapzaad geproduceerd werd. De CO<sub>2</sub>-impact van frituurvet is veel lager (methodisch gezien), omdat dit afval is.

Tabel 26 - Vergelijking tussen de emissiefactoren (WTW) zoals gerapporteerd door de Nederlandse Emissieautoriteit voor de jaren 2019, 2020 en 2023

Brandstof	Oude emissiefactoren (g CO <sub>2</sub> -eq./MJ)	Nieuwe emissiefactoren (g CO <sub>2</sub> -eq./MJ)*
Bio-ethanol	25 (NEa, 2021)	20
FAME	12,3 (NEa, 2021)	12,6
HVO	9,1 (NEa, 2021)	12
Bio-CNG	24 (NEa, 2020)	18
Bio-LNG		9
Waterstof (groen)	9,5 (EU, 2015)	9
Biokerosine	47,5 (ISO, 2022)	8

\* Bron: (NEa, 2024).



# B Gedetailleerde vervoersprestatie

## B.1 Personenauto

De vervoersprestatie van verschillende Euroklassen personenauto's hebben wij gebaseerd op aangeleverde data door het CBS (CBS, 2022a). De verdeling naar verschillende wegtypen hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2024). Wij hebben voor alle typen personenauto's dezelfde gemiddelde verdeling over wegtypen aangenomen (zie Tabel 27). In de praktijk is er een verschil tussen het aandeel van de wegtypen voor verschillende soorten personenauto's. We hebben deze verschillen niet meegenomen, zodat een betere vergelijking tussen het type auto's kan worden gemaakt.

Tabel 27 - Verdeling over wegtypen van personenauto's

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	18%
Buitenwegen	37%
Snelwegen	44%

De gemiddelde personenauto is een gewogen gemiddelde van verschillende typen personenauto's op basis van het aandeel in de vervoersprestatie. Tabel 28 geeft een overzicht van de weging van de gehanteerde weging.

Tabel 28 - Weging van verschillende typen personenauto's in de gemiddelde personenauto in 2022

Type personenauto	Aandeel in vervoersprestatie
Benzine	74,0%
Diesel	17,4%
LPG	1,2%
CNG	0,2%
Batterij-elektrisch	5,4%
Brandstofcel	0,0%
Plug-in hybride	1,7%



De individuele typen personenauto's zijn op zichzelf weer een samenstelling van verschillende Euroklassen. De aandelen van de verschillende Euroklassen in de vervoersprestatie zijn weergegeven in Tabel 29 tot Tabel 31.

Tabel 29 - Inschatting van het aandeel van benzine-, LPG- en CNG-personenauto's per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2022

Euroklasse	Benzine	LPG	CNG
Pre-Euro (<1992)	1%	4%	0%
Euro 1 (1992-1996)	0%	1%	0%
Euro 2 (1996-1999)	5%	7%	0%
Euro 3 (2000-2005)	8%	15%	0%
Euro 4 (2005-2010)	29%	42%	6%
Euro 5 (2009-2013)	24%	23%	22%
Euro 6 (>2014)	33%	8%	72%

Tabel 30 - Inschatting van het aandeel van dieselpersonenauto's per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2022

Euroklasse	Diesel
Pre-Euro (<1992)	0%
Euro 1 (1992-1996)	0%
Euro 2 (1996-1999)	1%
Euro 3 (2000-2005)	5%
Euro 4 (2005-2010)	14%
Euro 5 (2009-2013)	39%
Euro 6A (2014-2019)	41%
Euro 6D (>2020)	0%

Tabel 31 - Inschatting van het aandeel van zero-emissie-personenauto's in de vervoersprestatie in 2022

Type personenauto	Aandeel in vervoersprestatie
<b>Plug-in hybride - benzine</b>	
Euro 5 (2009-2013)	30%
Euro 6A (2014-2019)	70%
<b>Plug-in hybride - diesel</b>	
Euro 5 (2009-2013)	58%
Euro 6A (2014-2019)	42%
Euro 6D (>2020)	0%
<b>Zero-emissie</b>	
Batterij-elektrisch	100%
Waterstof	0%

## B.2 Motorfiets

Het aandeel van de vervoersprestatie van motorfietsen op verschillende wegtypen (zie Tabel 32) hebben we gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2024).

Tabel 32 - Verdeling over wegtypen van motorfietsen in 2022

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	15%
Buitenwegen	41%
Snelwegen	44%

In januari 2020 reden er slechts 700 elektrische motorfietsen rond, wat een zeer beperkt aandeel is in het totaal van ongeveer 800.000 motorfietsen (Groothellevoet, 2022). Om deze reden hebben wij elektrische motorfietsen niet meegewogen in het totaal: de gemiddelde motorfiets is dus gelijk aan de gemiddelde benzinemotorfiets.

Omdat in de recente rapportage van Taakgroep Verkeer en Vervoer de Euroklassen van tweewielers in kaart is gebracht, hebben wij deze data gebruikt voor de leeftijdsverdeling (Geilenkirchen et al., 2024).

Tabel 33 - Inschatting van het aandeel van motorfietsen per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2022

Euroklasse	Bouwjaar	Aandeel in vervoersprestatie
Pre-Euro	Voor 1999	15%
Euro 1	1999-2002	25%
Euro 2	2003-2005	14%
Euro 3	2006-2015	8%
Euro 4	2016-2019	27%
Euro 5	Na 2020	10%

### B.3 Bromfiets

Het aandeel van de vervoersprestatie van bromfietsen op verschillende wegtypen (zie Tabel 34) hebben we gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2024).

Tabel 34 - Verdeling over wegtypen van bromfietsen in 2022

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	70%
Buitenwegen	30%
Snelwegen	0%

De verdeling naar Euroklassen is in deze versie gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2024).

Tabel 35 - Inschatting van het aandeel van bromfietsen per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2022

Euroklasse	Bouwjaar	Aandeel in vervoersprestatie
Pre-Euro	Voor 1999	9%
Euro 2 (2-takt)	2002-2014	12%
Euro 2 (4-takt)	2002-2014	37%
Euro 3	2015-2016	0%
Euro 4	2017-2019	21%
Euro 5	2020-heden	13%
Elektrisch	-	7%

## B.4 Fiets

De vervoersprestatie van gewone en elektrische fietsen is gebaseerd op basis van (de Haas, 2022). Op basis van (SWOV, 2022) concluderen we dat er in oktober 2021 slechts 26.000 speed pedelecs waren in Nederland ten opzichte van ruim 3 miljoen elektrische fietsen. Het aandeel speed pedelecs is dus tot nog toe verwaarloosbaar. De procentuele aandelen van de verschillende typen fietsen in het gemiddelde zijn samengevat in Tabel 36.

Tabel 36 - Weging van verschillende typen fietsen in een gemiddelde fiets in 2022 (SWOV, 2022)

Type fiets	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Gewone fiets	77%
Elektrische fiets	23%

## B.5 Personenbusje

Aangezien we geen specifieke informatie hebben over de vervoersprestatie van personenbusjes, is aangenomen dat zowel de verdeling naar wegtype (zie Tabel 37) als de verdeling naar Euroklassen (zie

Tabel 38) gelijk is aan die van bestelauto's volgens (Geilenkirchen et al., 2024). Waarschijnlijk is ook een beperkt aandeel van de personenbussen elektrisch. Wij hebben dit echter niet meegenomen in de gemiddelde personenbus, omdat het aandeel elektrische personenbussen ons niet bekend is.

Tabel 37 - Aangenomen verdeling naar wegtype van personenbusjes

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	40%
Buitenwegen	30%
Snelwegen	30%

Tabel 38 - Aangenomen verdeling van Euroklassen personenbusjes in 2022

Euroklasse	Aandeel in vervoersprestatie
Pre-Euro (<1992)	0%
Euro 1 (1992-1999)	0%
Euro 2 (1997-2001)	0%
Euro 3 (2000-2006)	0%

Euroklasse	Aandeel in vervoersprestatie
Euro 4 (2005-2010)	0%
Euro 5 (2009-2016)	7%
Euro 6A (2014-2019)	93%
Euro-6D(>2020)	0%
Elektrisch	0%

## B.6 Ov-bus

De verdeling over de wegtypen is gebaseerd op (Geilenkirchen et al., 2024) en samengevat in Tabel 39.

Tabel 39 - Verdeling over wegtypen van ov-bussen in 2022

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	61%
Buitenwegen	31%
Snelwegen	8%

De weging van verschillende typen ov-bussen in het gemiddelde is gebaseerd op aangeleverde data van het CBS. De weging op basis van het aandeel in de vervoersprestatie hebben wij samengevat in Tabel 40.

Tabel 40 - Weging van verschillende typen ov-bussen in een gemiddelde ov-bus in 2022

Type ov-bus	Aandeel in vervoersprestatie
Diesel	60%
HVO	3%
CNG	9%
Batterij-elektrisch	28%
Waterstof	0%

De verschillende typen ov-bussen zijn weer samengesteld als een gewogen gemiddelde van verschillende Euroklassen. Deze weging hebben wij gebaseerd op aangeleverde data door het CBS (CBS, 2022b). De aandelen van de verschillende Euroklassen in de vervoersprestatie hebben wij opgenomen in Tabel 41 en

Tabel 42.

Tabel 41 - Vervoersprestatie diesel-ov-bussen in 2022

Euroklasse	Aandeel in vervoersprestatie
Pre-Euro	2%
Euro 1	0%
Euro 2	0%
Euro 3	0%
Euro 4	0%
Euro 5 EGR	43%

Euro 6	56%
--------	-----

Tabel 42 - Vervoersprestatie CNG ov-bussen in 2022

Euroklasse	Aandeel in vervoersprestatie
Euro 5	87%
Euro 6	13%

## B.7 Touringcar

De vervoersprestatie van verschillende typen touringcars op Nederlandse wegen (zie Tabel 43) is gebaseerd op speciaal aangeleverde data van het CBS (CBS, 2022b). De vervoersprestaties omvatten alle gereden kilometers door Nederlandse én buitenlandse touringcars op Nederlandse wegen. Een uitsplitsing naar gereden kilometers van alleen Nederlandse touringcars is niet beschikbaar. Door verschillen in de leeftijd en Euroklasse touringcar in de buitenlandse touringcarvloot kan het voorkomen dat de daadwerkelijke gemiddelde uitstoot per reizigerskilometer met een Nederlandse touringcar een (geringe) afwijking heeft.

De verdeling van vervoersprestaties naar wegtypen (zie Tabel 44) is gebaseerd op een expertinschatting in overleg met KNV.

Verder gaan wij ervan uit dat een gemiddelde touringcar gelijk is aan een gemiddelde dieseltouringcar. Er zijn namelijk momenteel verwaarloosbaar weinig touringcars met een andere aandrijflijn. Wel komt het voor dat er HVO wordt gebruikt op verzoek van de partij waar de rit voor wordt uitgevoerd. Er zijn echter geen goede statistieken bekend voor het aandeel HVO dat wordt bijgemengd door touringcars en dit aandeel is waarschijnlijk nog zeer beperkt. Om deze reden hebben wij gebruik van HVO niet meegewogen in de gemiddelde touringcar.

Tabel 43 - Vervoersprestatie van touringcars per Euroklasse

Euroklasse	Bouwjaar	Aandeel in vervoersprestatie
Pre-Euro	tot 1993	4%
Euro 1	1990-1997	4%
Euro 2	1994-2001	4%
Euro 3	2000-2006	6%
Euro 4	2005-2009	5%
Euro 5	2009-2013	26%
Euro 6	2012-heden	53%

Tabel 44 - Verdeling over wegtypen van touringcars in 2022

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	25%
Buitenwegen	25%
Snelwegen	50%

## B.8 Trein

Voor de vervoersprestatie van NS-treinen gaan wij uit van data die op verzoek is aangeleverd door NS. Informatie over de vervoersprestatie van regionale stoptreinen is op verzoek geleverd door het CROW<sup>18</sup>. Het jaar 2019 werd gehanteerd voor deze data, omdat de effecten van de coronacrisis op het ov niet representatief zijn voor de komende jaren. De geleverde informatie hebben wij samengevat in Tabel 16.

Wij hebben internationale treinen niet apart meegewogen in het kental voor de gemiddelde trein. De kentallen voor gemiddelde treinen zijn dus representatief voor gemiddelde treinen van NS en van regionale vervoerders.

In de praktijk zijn er dieseltreinen die op HVO rijden. Wij hebben hier aparte kentallen voor berekend. In de gemiddelde trein hebben wij dieseltreinen echter meegewogen als treinen die op fossiele diesel rijden, omdat wij niet op de hoogte zijn van het aandeel treinen dat op HVO rijdt.

Tabel 45 - Vervoersprestatie treinen in 2019

Categorie	Reizigerskilometers (mld)	Zitplaatskilometers (mld)
Stoptrein NS	3,6	15
Intercity (inclusief HSL)	14,4	45,3
Stoptrein regionaal (diesel)	0,6	2,5
Stoptrein regionaal (elektrisch)	0,5	2,1

## B.9 Tram en metro

Hoewel het basisjaar van deze studie in 2022 ligt, is het gemiddelde energieverbruik van trams en metro's berekend voor het jaar 2023. Hiervoor is gekozen omdat in dit jaar de vermindering in reizigerkilometers door nasleep van de coronapandemie minder optreden.

Voor tram en metro is het energiegebruik per reizigerskilometer berekend als het totale energiegebruik gedeeld door het totaal aantal reizigerskilometers. Het totaal aantal reizigerskilometers is de som van de gerapporteerde reizigerskilometers door RET, GVB, U-OV en HTM (GVB Holding NV, 2024; HTM, lopend; Provincie Utrecht, 2024; RET, 2024). De vervoersprestatie van trams en metro's is weergegeven in Tabel 46.

Tabel 46 - Vervoersprestatie trams en metro's in 2023

Categorie	Reizigerskilometers (mld)	Zitplaatskilometers (mld)
Metro	1,1	1,3
Tram	0,7	2,0

## B.10 Luchtvaart

De data die in deze studie gebruikt worden zijn beschikbaar gesteld door Schiphol Airport en omvatten een overzicht van alle vertrekkende en aankomende vluchten in 2018. De vluchtpatronen zijn vergelijkbaar met 2019 waardoor het beeld representatief is voor de luchtvaart voor de coronatijd.

<sup>18</sup> Dit is data die onderliggend is voor de studie 'De Staat van het Regionale OV 2019' (CROW-KpVV, 2020).

# C Uitkomsten luchtvaart per LTO

## C.1 Emissies per LTO

Tabel 47 - Gram CO<sub>2</sub>-uitstoot per LTO per reiziger

Afstandsklasse	Reisklasse	WTW	TTW				WTT			
		CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq.	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2,5v</sub>	PM <sub>10-sl</sub>	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Gemiddeld	Gemiddeld	22.313	17.178	86	0,59	1,16	5.136	4.758	9	0,9
Gemiddeld	Economy class	20.117	15.487	78	0,54	1,05	4.630	4.290	8	0,8
Gemiddeld	Economy premium	21.434	16.500	83	0,57	1,12	4.933	4.571	8	0,8
Gemiddeld	Business class	40.425	31.121	157	1,08	2,10	9.305	8.621	16	1,5
Gemiddeld	First class	106.170	81.733	411	2,83	5,53	24.437	22.641	42	4,0
Korte afstand	Gemiddeld	22.253	17.131	71	0,62	1,53	5.122	4.745	9	0,8
Korte afstand	Economy class	20.062	15.445	64	0,55	1,38	4.618	4.278	8	0,8
Korte afstand	Economy premium	21.376	16.456	68	0,59	1,47	4.920	4.558	8	0,8
Korte afstand	Business class	40.316	31.037	128	1,11	2,78	9.279	8.597	16	1,5
Korte afstand	First class	105.883	81.512	336	2,93	7,29	24.371	22.580	42	4,0
Middellange afstand	Gemiddeld	21.555	16.594	86	0,57	0,97	4.961	4.597	9	0,8
Middellange afstand	Economy class	19.433	14.961	77	0,51	0,88	4.473	4.144	8	0,7
Middellange afstand	Economy premium	20.705	15.940	82	0,55	0,93	4.766	4.415	8	0,8
Middellange afstand	Business class	39.052	30.064	155	1,03	1,76	8.988	8.328	15	1,5
Middellange afstand	First class	102.564	78.957	407	2,71	4,62	23.607	21.872	41	3,9
Lange afstand	Gemiddeld	23.199	17.859	126	0,57	0,47	5.340	4.947	9	0,9
Lange afstand	Economy class	20.915	16.101	114	0,51	0,43	4.814	4.460	8	0,8
Lange afstand	Economy premium	22.284	17.155	121	0,55	0,46	5.129	4.752	9	0,8
Lange afstand	Business class	42.029	32.355	228	1,03	0,86	9.674	8.963	17	1,6
Lange afstand	First class	110.382	84.976	600	2,71	2,26	25.406	23.539	44	4,2

\* Bij luchtvaart wordt de klimaatimpact ook bepaald door 'niet-CO<sub>2</sub>', zie paragraaf 3.2.

# D Berekening broeikasgasemissies elektriciteitsproductie

Wij hebben de emissies van broeikasgassen van elektriciteitsproductie berekend conform de methodiek van de studie Ketenemissies elektriciteit (actualisatie 2023) (CE Delft, 2023a). Deze kentallen zijn berekend voor het jaar 2021. De aangenomen ketenemissies per soort stroomopwekking hebben wij samengevat in Tabel 48.

Tabel 48 - Ketenemissies 2021 per energiebron (gCO<sub>2</sub>-eq./kWh)

Energiebron	Ketenemissies exclusief centrale en productiemiddelen (g/kWh)	Ketenemissies van centrale en productiemiddelen (g/kWh)
Aardgas*	79	1
- <i>wkk</i>	82	2
- <i>niet-wkk</i>	77	1
Kolen	147	1
Overig fossiel	0	2
Nucleair	5	2
Wind	0	16
Zon	0	62
Waterkracht	0	4
Biomassa	68	2
Overig	62	9

Wij hebben echter drie wijzigingen doorgevoerd:

1. Voor de directe emissies van stroomproductie voor de gemiddelde stroommix gaan wij nu uit van 220 gCO<sub>2</sub>/kWh, op basis van de integrale methode voor het jaar 2023 uit de KEV 2024.
2. Wij gaan uit van de stroommix uit 2023 zoals gerapporteerd door CBS (CBS, 2024). De aangenomen stroommix hebben wij samengevat in Tabel 49.
3. We hebben in de ketenemissies rekening gehouden met de 4,06% transportverliezen bij elektriciteit (CE Delft, 2023a). We hebben aangenomen dat deze gelijk is bij alle elektriciteitsbronnen.

Tabel 49 - Aangenomen stroommix in 2023

Stroombron	Productie (PJ)	% van totaal	% van grijze mix	% groene mix
Aardgas	165	38%	74%	
- <i>wkk</i>	92	21%	41%	
- <i>niet-wkk</i>	73	17%	33%	
Kolen	31	7%	14%	
Overig fossiel	13	3%	6%	
Nucleair	14	3%	6%	
Wind	106	24%		60%
Zon	70	16%		40%
Waterkracht	0	0%		0%



Stroombron	Productie (PJ)	% van totaal	% van grijze mix	% groene mix
Biomassa	27	6%		
Overig	9	2%	3%	
<b>Totaal Productie</b>	<b>437</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Uit deze cijfers volgt dat 53,2% van de opgewekte stroom in 2023 grijs was. Conform de methodiek van Ketenemissies elektriciteit 2023 (CE Delft, 2023a) kunnen wij hier uit afleiden dat de directe emissies van stroomproductie voor de gemiddelde grijze stroommix gelijk zijn aan 414 gCO<sub>2</sub>/kWh. Door Tabel 48 en Tabel 49 hebben wij vervolgens alle emissiekentallen voor productie van gemiddelde, groene en grijze stroom<sup>19</sup> opgesteld (zie Tabel 50).

Tabel 50 - Resulterende emissiekentallen stroomopwekking (gCO<sub>2</sub>-eq./kWh)

	ketenemissie excl. productie-middelen	ketenemissie incl. productie-middelen	Directe emissies	Totaal excl. productie-middelen	Totaal incl. productie-middelen
Gemiddelde stroommix	48	63	220	268	283
Grijze stroommix	83	85	414	497	498
Groene stroommix	0	34	0	0	34

In de emissiekentallen voor voertuigen is ten slotte nog een opslagpercentage verondersteld voor de transformatie naar laagspanning en middenspanning, van respectievelijk 2,98% en 1,19%. Aangenomen is dat alle elektrische wegvoertuigen op laagspanning laden, en de trein, tram en metro middenspanning gebruiken.

<sup>19</sup> Wij hebben groene stroom berekend als het gewogen gemiddelde van zon, wind en waterkracht. Wij hebben grijze stroom berekend als het gewogen gemiddelde van aardgas, kolen, overig fossiel, nucleair en overig.

# E Uitgebreide kentallen elektrische- en waterstofvoertuigen

**Tabel 50** geeft een overzicht van de emissies van elektrische voertuigen bij verschillende typen stroomopwekking en waterstofvoertuigen bij verschillende typen stroomopwekking en steam reforming. Voor elektrische voertuigen hebben wij naast de gemiddelde stroommix ook 100% duurzame stroom (de Nederlandse mix van wind, zon en waterkracht in 2023) gekwantificeerd en 100% grijze stroom (de Nederlandse mix van kolen, aardgas, en 'overig fossiel'). Voor waterstof hebben wij de grijze stroom niet gekwantificeerd: het ligt namelijk niet voor de hand om op basis van grijze stroom waterstof te produceren.

Tabel 51 - Overzicht gemiddelde emissies per reizigerskilometer in 2022 (g/rkm)

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW	WTT			
				CO <sub>2</sub> - eq. incl. infra*	CO <sub>2</sub> - eq. excl. infra*	PM <sub>10stl</sub>	CO <sub>2</sub> - eq. incl. infra	CO <sub>2</sub> - eq. excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Personenauto	Batterij- elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	1,3	49,5	46,9	0,012	49,5	46,9	0,035	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,3	6,0	0,0	0,012	6,0	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,3	87,1	86,9	0,012	87,1	86,9	0,040	0,001
	Brandstofcel	Waterstof - steam reforming	1,3	96,8	95,6	0,012	96,8	95,6	0,042	0,002
		Waterstof - elektrolyse NL gemiddelde stroom	1,3	133,7	127,1	0,012	133,7	127,1	0,087	0,004
		Waterstof - elektrolyse 100% groene stroom	1,3	23,4	8,3	0,012	23,4	8,3	0,000	0,000
Motorfiets	Batterij- elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	1,2	52,2	49,4	0,006	52,2	49,4	0,036	0,002
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,2	6,3	0,0	0,006	6,3	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,2	91,8	91,5	0,006	91,8	91,5	0,043	0,001
Bromfiets	Batterij- elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	1,1	12,0	11,4	0,003	12,0	11,4	0,008	0,000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,1	1,5	0,0	0,003	1,5	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,1	21,2	21,1	0,003	21,2	21,1	0,010	0,000
Fiets	E-Bike	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	1,0	2,6	2,5	0,000	2,6	2,5	0,002	0,000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,0	0,3	0,0	0,000	0,3	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,0	4,6	4,6	0,000	4,6	4,6	0,002	0,000
	Speed pedelec	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	1,0	3,2	3,0	0,000	3,2	3,0	0,002	0,000

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW	WTT				
				CO <sub>2</sub> - eq. incl. infra*	CO <sub>2</sub> - eq. excl. infra*	PM <sub>10stl</sub>	CO <sub>2</sub> - eq. incl. infra	CO <sub>2</sub> - eq. excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,0	0,4	0,0	0,000	0,4	0,0	0,000	0,000	
		Elektriciteit - 100% grijs	1,0	5,6	5,6	0,000	5,6	5,6	0,003	0,000	
Personenbus	Batterij- elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	2,4	44,7	42,3	0,008	44,7	42,3	0,031	0,001	
		Elektriciteit - 100% duurzaam	2,4	5,4	0,0	0,008	5,4	0,0	0,000	0,000	
		Elektriciteit - 100% grijs	2,4	78,6	78,4	0,008	78,6	78,4	0,036	0,001	
Ov-bus	Gemiddeld*	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	8,1	106,0	103,8	0,013	36,5	34,3	0,045	0,006	
		Elektriciteit - 100% duurzaam	8,1	94,6	91,5	0,013	25,1	22,1	0,036	0,006	
		Elektriciteit - 100% grijs	8,1	115,8	114,2	0,013	46,3	44,7	0,046	0,006	
	Batterij- elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	8,1	46,8	44,3	0,011	46,8	44,3	0,033	0,001	
		Elektriciteit - 100% duurzaam	8,1	5,7	0,0	0,011	5,7	0,0	0,000	0,000	
		Elektriciteit - 100% grijs	8,1	82,3	82,0	0,011	82,3	82,0	0,038	0,001	
	Brandstofcel	Waterstof - steam reforming	8,1	91,5	90,3	0,011	91,5	90,3	0,040	0,002	
		Waterstof - elektrolyse NL gemiddelde stroom	8,1	126,3	120,1	0,011	126,3	120,1	0,083	0,004	
		Waterstof - elektrolyse 100% groene stroom	8,1	22,1	7,8	0,011	22,1	7,8	0,000	0,000	
	Touringcar	Batterij- elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	48,0	7,1	6,7	0,001	7,1	6,7	0,005	0,000
			Elektriciteit - 100% duurzaam	48,0	0,9	0,0	0,001	0,9	0,0	0,000	0,000

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW	WTT			
				CO <sub>2</sub> - eq. incl. infra*	CO <sub>2</sub> - eq. excl. infra*	PM <sub>10stl</sub>	CO <sub>2</sub> - eq. incl. infra	CO <sub>2</sub> - eq. excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
		Elektriciteit - 100% grijs	48,0	12,5	12,4	0,001	12,5	12,4	0,006	0,000
	Brandstofcel	Waterstof - steam reforming	48,0	13,8	13,7	0,001	13,8	13,7	0,006	0,000
		Waterstof - elektrolyse NL gemiddelde stroom	48,0	19,1	18,2	0,001	19,1	18,2	0,012	0,001
		Waterstof - elektrolyse 100% groene stroom	48,0	3,3	1,2	0,001	3,3	1,2	0,000	0,000
Trein	Gemiddeld*	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	29%	18,9	18,0	0,014	16,6	15,7	0,012	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	29%	5,0	3,0	0,014	2,7	0,7	0,001	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	29%	30,9	30,8	0,014	28,6	28,5	0,014	0,001
	Stoptrein elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	24%	34,3	32,5	0,028	34,3	32,5	0,024	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	24%	4,2	0,0	0,028	4,2	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	24%	60,3	60,2	0,028	60,3	60,2	0,028	0,001
	Intercity	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	32%	11,4	10,8	0,009	11,4	10,8	0,008	0,000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	32%	1,4	0,0	0,009	1,4	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	32%	20,0	19,9	0,009	20,0	19,9	0,009	0,000
	Internationale trein	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	47%	14,3	13,6	0,012	14,3	13,6	0,010	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	47%	14,3	13,6	0,012	14,3	13,6	0,010	0,000

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW	WTT			
				CO <sub>2</sub> - eq. incl. infra*	CO <sub>2</sub> - eq. excl. infra*	PM <sub>10stl</sub>	CO <sub>2</sub> - eq. incl. infra	CO <sub>2</sub> - eq. excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Tram	Elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	35%	40,9	38,7	0,033	40,9	38,7	0,029	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	35%	4,9	0,0	0,033	4,9	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	35%	71,9	71,7	0,033	71,9	71,7	0,033	0,001
Metro	Elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	87%	55,0	52,1	0,036	55,0	52,1	0,038	0,002
		Elektriciteit - 100% duurzaam	87%	6,7	0,0	0,036	6,7	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	87%	96,7	96,4	0,036	96,7	96,4	0,045	0,001
Ov	Gemiddeld*	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	31%	32,5	31,3	0,015	21,8	20,6	0,018	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	31%	16,5	14,1	0,015	5,8	3,4	0,006	0,001
		Elektriciteit - 100% grijs	31%	46,3	46,0	0,015	35,6	35,3	0,020	0,001
Bus/tram/metro	Gemiddeld*	Elektriciteit - gemiddelde NL-mix	37%	84,1	81,8	0,022	41,5	39,2	0,041	0,004
		Elektriciteit - 100% duurzaam	37%	60,3	56,1	0,022	17,7	13,5	0,022	0,004
		Elektriciteit - 100% grijs	37%	104,7	103,6	0,022	62,1	61,0	0,044	0,004

\* Dit zijn samengestelde categorieën waar het gemiddelde zowel uit elektrische als niet-elektrische voertuigen bestaat. Voor het niet-elektrische gedeelte van deze samengestelde kentallen gelden de emissiekentallen uit

Tabel 1 - Overzicht gemiddelde emissies per reizigerskilometer voor het wegverkeer in 2022 (g/rkm). De emissies van het elektrische gedeelte van de samengestelde kentallen verschillen echter per type elektriciteitsopwekking.